

**AVALIAÇÃO DO IMPACTE DA METODOLOGIA DE  
CÁLCULO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA  
PRIMÁRIA NA CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS  
DE HABITAÇÃO**

Bruno Sérgio Da Costa Caldeira Valério

*Dissertação apresentada à  
Universidade Nova de Lisboa,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia,  
para a obtenção do grau de Mestre  
em Energia e Bio-energia*

Orientador: Doutor Vasco Moreira Rato

Co-orientador: Doutor Daniel Aelenei

**Monte de Caparica**

**Novembro de 2009**



## FICHA TÉCNICA

**Título:** Avaliação do impacto da metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia primária na certificação energética de edifícios de habitação

**Autor:** Bruno Sérgio Da Costa Caldeira Valério

**Objectivo do presente trabalho:** Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Bio-energia.

**Âmbito do estudo:** Trabalho de investigação destinado a avaliar de que modo os processos de cálculo dos valores das necessidades nominais de energia primária, actualmente definidos na regulamentação portuguesa para edifícios de habitação, condicionam a classe energética das respectivas fracções autónomas.

**Orientação científica do trabalho:** Professor Doutor Vasco Moreira Rato (Professor Auxiliar do ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Departamento de Arquitectura e Urbanismo).

**Co-orientação científica do trabalho:** Professor Doutor Daniel Aelenei (Professor Auxiliar da UNL-FCT, Departamento de Engenharia Civil).

**Contactos do autor:** bruno\_sergio@hotmail.com

**Local:** Monte de Caparica

**Data:** Novembro de 2009

O conteúdo da presente dissertação é da inteira responsabilidade do autor.

Não é autorizada a reprodução, total ou parcial, do conteúdo da presente dissertação, sem a autorização prévia do autor, por escrito.

É autorizada a citação do conteúdo da presente dissertação, desde que acompanhada da respectiva referência bibliográfica, de acordo com as normas internacionais e de citação de trabalhos científicos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Vasco Moreira Rato, Professor Auxiliar do ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Departamento de Arquitectura e Urbanismo, pela orientação do presente trabalho, e transmissão de conhecimentos essenciais para a elaboração e escrita do mesmo.

Ao Professor Doutor Daniel Aelenei, Professor Auxiliar da UNL-FCT, Departamento de Engenharia Civil, pela co-orientação do presente trabalho.

Ao Professor Doutor Miguel Amado, Professor Auxiliar da UNL-FCT, Departamento de Engenharia Civil, pela disponibilização do projecto que foi caso de estudo.

À Professora Doutora Benilde Mendes e ao Professor Doutor Nuno Lapa pelos esclarecimentos e ajuda prestados durante a elaboração e escrita da presente dissertação.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XIV</b>
<b>ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1. COMPORTAMENTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS</b>	<b>3</b>
1.1 Fenómenos de transmissão de calor	3
1.2 Isolamento térmico	6
1.3 Pontes térmicas	7
1.4 Inércia térmica	9
1.5 Conforto térmico	12
1.6 Coeficiente de transmissão térmica	15
1.7 Envolvente de edifícios	17
1.8 Balanço energético em edifícios	18
1.9 Factor de forma	27
1.10 Ventilação	28
<b>2. PERFÍS ENERGÉTICOS EUROPEU E PORTUGUÊS</b>	<b>30</b>
2.1 Caracterização energética da União Europeia	30
2.2 Caracterização energética do sector dos edifícios a nível europeu	36
2.3 Legislação europeia no sector dos edifícios	41
2.4 Caracterização energética a nível nacional	42
2.5 Caracterização energética do sector dos edifícios em Portugal	47
2.6 Legislação nacional no sector dos edifícios	48

<b>3. CASO DE ESTUDO</b>	<b>51</b>
3.1 Apresentação	51
3.2 Zonamento climático	58
3.3 Metodologia	58
3.3.1 <i>Método de cálculo</i>	58
3.3.2 <i>Descrição dos parâmetros testados</i>	59
3.3.3 <i>Descrição dos parâmetros considerados para ao cálculo das necessidades globais de energia primária</i>	64
3.3.4 <i>Discussão de resultados</i>	68
<b>4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b>	<b>69</b>
4.1 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência	70
4.2 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de $N_2$	74
4.3 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária considerando a existência da resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $N_t$ , para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência	79
4.4 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária considerando a existência da resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $N_t$ , para valores de coeficientes de transmissão térmica $N_2$	85
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Transmissão de calor por condução através de um material.	4
Figura 1.2 – Transmissão de calor através de uma ponte térmica linear.	9
Figura 1.3 – Visualização das linhas de fluxo de calor através de uma ponte térmica linear.	9
Figura 1.4 – Efeito da inércia térmica.	10
Figura 1.5 – Caso A: Variação das temperaturas interior e exterior. Fluxos de calor diurno e nocturno.	11
Figura 1.6 – Caso B: Variação das temperaturas interior e exterior. Fluxos de calor diurno e nocturno.	12
Figura 1.7 – Variação do custo global associado ao isolamento de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica.	16
Figura 2.1 - Comparação do consumo de energia primária na UE-27 nos anos de 1991 e 2006.	31
Figura 2.2 – Evolução do consumo de energia primária na UE-27 entre 1990 e 2006.	32
Figura 2.3 – Evolução da produção de energia primária, consumo de energia e produção de energia a partir de fontes renováveis, na UE-27 entre 1991 e 2006.	33
Figura 2.4 – Contribuição das fontes renováveis de energia para o consumo de energia primária no período de 1990 a 2005, na UE-27.	34
Figura 2.5 – Produção de electricidade a partir de fontes renováveis, na UE-27 entre 1996 e 2006.	35
Figura 2.6 – Consumo de energia final, por sector de actividade, na UE-27 em 2006.	36
Figura 2.7 – Consumo de energia por actividade e habitação, na UE-15, em 2005.	38
Figura 2.8 – Evolução do consumo de energia por combustível no sector residencial, na UE, de 1990 a 2030.	40
Figura 2.9 – Consumo de energia primária em Portugal, em 2008.	43
Figura 2.10 – Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis.	44
Figura 2.11 – Produção de energia eléctrica por tipo de combustível, em Portugal de 1991 a 2006.	45
Figura 2.12 – Consumo de energia final por sector de actividade em Portugal, em 2007.	46
Figura 2.13 – Evolução do consumo de energia final por sector de actividade em Portugal, de 1990 a 2007.	46
Figura 2.14 – Consumo de energia por tipo de utilização final, em Portugal, em 2005.	48
Figura 3.1 – Bloco de moradias onde se insere a fracção autónoma estudada.	52
Figura 3.2 – Pormenor do bloco de moradias onde se insere a fracção autónoma estudada.	53
Figura 3.3 – Planta do Piso 1.	54
Figura 3.4 – Planta do Piso 2.	55
Figura 3.5 – Corte 1.	56
Figura 3.6 – Corte 2.	57



Figura 4. – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_1V_1S$ .	70
Figura 4.2 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_3V_3N$ .	71
Figura 4.3 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_1V_1S$ .	73
Figura 4.4 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_3V_3N$ .	73
Figura 4.5 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_1V_1S$ .	75
Figura 4.6 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_3V_3N$ .	76
Figura 4.7 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_1V_1S$ .	77
Figura 4.8 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_3V_3N$ .	78
Figura 4.9 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_1V_1S$ .	81
Figura 4.10 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_3V_3N$ .	82
Figura 4.11 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_1V_1S$ .	83
Figura 4.12 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática $I_3V_3N$ .	85
Figura 4.13 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_1V_1S$ .	86
Figura 4.14 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $Nt$ , valores de coeficientes de transmissão térmica $N2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática $I_3V_3N$ .	87

Figura 4.15 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_1V_1S$ . 88

Figura 4.16 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_3V_3N$ . 89

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Valores de ponderação das expressões relativas ao cálculo de $N_{tc}$ e $N_t$ .	64
Quadro 3.2 – Matriz das soluções simuladas considerando valores de referência de coeficientes de transmissão térmica.	67
Quadro 3.3 – Matriz das soluções simuladas considerando valores de coeficientes de transmissão térmica $N_2$ .	67
Quadro 4.1 – Resultados obtidos para simulações considerando resistência eléctrica como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de $N_{tc}$ ( $N_{tc}$ e $N_t$ em $\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ ).	90

## RESUMO

O presente estudo pretendeu avaliar a influência dos valores de ponderação das expressões relativas ao cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária e do valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária, assim como de outros parâmetros condicionantes do cálculo das necessidades globais anuais nominais de energia primária que, no seu conjunto, condicionam de forma decisiva a classe de certificação energética em edifícios de habitação, de acordo com o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

Foram simuladas diferentes combinações dos parâmetros condicionantes do processo de cálculo das necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma estudada. Os parâmetros testados foram os valores de ponderação das expressões relativas ao cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária e do valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária, o uso de dois sistemas de aquecimento do ambiente interior, um com recurso à energia eléctrica (resistência eléctrica) e outro ao gás (caldeira a gás), orientações geográficas Norte/Sul e Este/Oeste, valores de coeficientes de transmissão térmica de referência e um outro conjunto de valores que representam um nível de qualidade de envolvente acrescido, e a distinção de duas zonas climáticas distintas para a localização da fracção autónoma estudada.

O objecto de estudo foi uma moradia visto ser um tipo de fracção autónoma bastante exigente do ponto de vista térmico e energético, simulando, deste modo, as situações mais exigentes em Portugal Continental.

Concluiu-se que a escolha do sistema de aquecimento do ambiente interior, presente nas expressões relativas ao cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária e do valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária interfere, de um modo decisivo, na atribuição da classe de certificação energética em edifícios de habitação, de acordo com o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

Os resultados obtidos sugerem algumas alterações no método de cálculo das necessidades globais anuais nominais de energia primária para edifícios de habitação, de forma a informar mais correctamente o utilizador no que diz respeito ao consumo energético aquando da compra e/ou aluguer de uma fracção autónoma.

## ABSTRACT

The current work aimed to study several conditioning parameters defined in the Portuguese energy regulations for residential buildings regarding the calculation of the annual primary energy requirements. These parameters have an extremely important influence in the energy certification class.

Several combinations of the conditioning parameters were tested, within the frame of a case study. The tested parameters were the weighting factors applied to heating and cooling energy demands and the characteristics of the heating system considered (energy source and equipment efficiency). Gas-based and electricity-based heating systems were considered. The influence of these parameters was analyzed together with other variables such as the geographical orientation of the building, the heat transfer coefficient of external walls and roof and two extreme climatic zones.

In this case study an isolated dwelling was chosen due to the fact that its thermal and energetic demands are higher than any other type of residential building, allowing, for this reason, the test of the most extreme situations in Portugal.

The choice of the heating system in the calculation of the annual primary energy requirements proved to affect, in a very important way, the final energy certification class for residential buildings.

The obtained results suggest a few changes in the calculation method of primary energy. In fact, the possibility of considering the complete energy requirements for heating and cooling (weighting factors equal to one) in the one hand, and the possibility of calculating the reference maximum value using the heating system prescribed (instead of the mandatory gas-based system), will contribute to a much better equity in the information subjacent to the energy certification class.

## ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

$A$  – Área do elemento da envolvente medida pelo interior

$A_{ext}$  – Área da envolvente exterior

$A_{int}$  – Área da envolvente interior

$A_p$  – Área útil do pavimento

AQS – Águas Quentes Sanitárias

$A_{snj}$  – Área efectiva colectora da radiação solar da superfície  $n$  que tem orientação  $j$

$B_j$  – Comprimentos da ponte térmica  $j$  medida pelo interior

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-lei

EC – European Commission

EEA – European Environment Agency

EEAP – Energy Efficiency Action Plan

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FER – Fontes de Energias Renováveis

$FF$  – Factor de forma

$F_g$  – Fracção envidraçada

$F_s$  – Factor de obstrução

$F_w$  – Factor de correcção

$GD$  – Número de graus-dias de aquecimento (na base de 20 °C)

$G_{sul}$  – Valor médio mensal da energia solar incidente numa superfície vertical orientada a Sul, de área unitária durante a estação de aquecimento

$h$  – Condutância térmica superficial por convecção

IEA – International Energy Agency

IEE – Intelligent Energy-Europe

INE – Instituto Nacional de Estatística

$M$  – Duração da estação de aquecimento

$N_a$  – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias.

$N_{ac}$  – Necessidades anuais de energia útil para preparação de água quente sanitária

$N_i$  – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

$N_{ic}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

$N_t$  – Necessidades nominais globais anuais de energia primária

$N_{tc}$  – Necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária

$N_v$  – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$N_{vc}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

PCH – Pequenas centrais hidroeléctricas

$P_d$  – Pé-direito médio

QAI – Qualidade do Ar Interior

$Q_c$  – Transmissão de calor através de um material

$R$  – Resistência térmica de um elemento construtivo

$R_{ph}$  – Taxa de renovação nominal

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios



SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

tep – Tonelada equivalente de petróleo

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica de um elemento construtivo

UE – União Europeia

UE-15 – União Europeia a 15 Estados-Membros

UE-25 – União Europeia a 25 Estados-Membros

UE-27 – União Europeia a 27 Estados-Membros

$V$  – Volume interior da fracção autónoma

$g_{\perp}$  – Factor solar do vão envidraçado

$\lambda$  – Condutibilidade térmica

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzman

$\varepsilon$  – Emissividade da superfície

$\tau$  – Coeficiente “Tau”

$\psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear

$\theta_a$  – Temperatura do local não aquecido

$\theta_{atm}$  – Temperatura ambiente exterior

$\theta_i$  – Temperatura interior

## INTRODUÇÃO

As constantes flutuações dos preços de energia nos mercados internacionais, onde o petróleo assume um papel essencial, tornaram a União Europeia vulnerável àquelas, comprometendo o desenvolvimento sustentável dos seus Estados-Membros. Por conseguinte, a Comissão Europeia tem vindo a incentivar os Estados-Membros a adoptar estratégias de desenvolvimento que visem diminuir a sua dependência energética externa promovendo o uso de fontes de energias renováveis e trabalhando na melhoria da eficiência energética nos diferentes sectores de actividade.

O sector dos edifícios, responsável por cerca de 40 % do consumo energético na Europa (EC, 2009, representa uma enorme oportunidade no que diz respeito à eficiência energética. Em Portugal este sector representa 28 % do consumo energético total nacional. Por esse motivo, torna-se essencial que a eficiência energética em edifícios seja objecto de estudo visando detectar erros a partir dos quais seja possível tomar medidas no sentido de otimizar o desempenho energético de um edifício e, por conseguinte, diminuir o consumo energético destes, com todas as vantagens económicas e ambientais que daí advêm.

De acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, DL 80/2006) o desempenho energético de cada fracção autónoma está directamente dependente do cálculo das suas necessidades globais de energia. Neste cálculo são considerados três valores, respeitantes às necessidades anuais nominais globais estimadas de energia primária para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias, bem como ao valor limite destas.

Segundo o Artigo 15º do Capítulo V do RCCTE, são definidas as expressões de cálculo relativas às necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ) e ao valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária ( $N_t$ ). Para ambas as expressões de cálculo, são considerados os respectivos factores de ponderação que têm em conta os padrões habituais de utilização dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias.

Neste sentido, este estudo teve como objectivo a avaliação dos valores de ponderação das expressões de cálculo atrás consideradas, actualmente definidos, bem como de outros parâmetros condicionantes do cálculo das necessidades globais anuais nominais de energia primária que, no seu conjunto, condicionam de forma decisiva a classe de certificação energética em edifícios de habitação, de acordo com o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE, DL 78/2006).

O presente estudo divide-se em cinco partes essenciais. Na primeira pretendeu-se analisar o conhecimento existente sobre o comportamento térmico em edifícios, procurando apresentar os diferentes mecanismos de transmissão de calor em edifícios e o método de cálculo no qual se baseia o RCCTE. A segunda parte visou apresentar os perfis energéticos a nível europeu e nacional, na qual foi caracterizado, de um modo mais detalhado, o sector dos edifícios. Na terceira parte deste estudo apresentou-se o caso de estudo, enquadrando e justificando os diferentes parâmetros testados ao longo do trabalho. A quarta parte é composta pela apresentação e análise sucinta dos resultados obtidos. Na quinta e última parte apresentaram-se as conclusões deste estudo.

# 1. COMPORTAMENTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS

## 1.1 Fenómenos de Transmissão de Calor

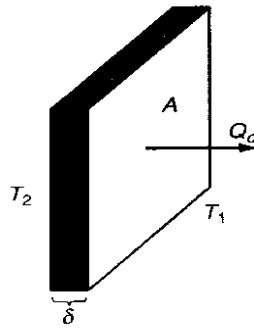
A partir da envolvente de um edifício verificam-se três diferentes mecanismos de transmissão de calor ou energia, são eles a condução, a convecção e a radiação.

A condução é um mecanismo de transmissão de calor no qual a energia é transferida a nível molecular, em sólidos, líquido e gases. Deste modo, a propagação da energia térmica ocorre através do contacto de duas substâncias a temperaturas diferentes, que poderão ser metais, madeiras, cerâmicas, pedras, etc., até que se atinja um equilíbrio. Nos compostos metálicos, com elevada condutibilidade térmica, a condução dá-se com o movimento de electrões livres. Em compostos líquidos ou sólidos não condutores eléctricos, a transferência de calor dá-se através de oscilações longitudinais da estrutura molecular. No caso dos compostos gasosos, geralmente apresentando uma baixa condutibilidade, ocorrem transferências de energia térmica por via de colisão elástica entre moléculas. Este mecanismo de transmissão de calor depende, no caso da envolvente dos edifícios, da condutibilidade térmica dos materiais assim como da espessura dos elementos que a compõem e, simplificada, da diferença de temperatura entre as faces de camada ou material.

A Lei de Fourier indica que a transmissão de calor normal à placa é proporcional ao gradiente de temperatura  $\Delta T/\delta$  nesta direcção. De acordo com esta lei, o perfil de temperaturas na espessura da camada é linear e a transmissão de calor que a atravessa por unidade de área é dada por:

$$Q_c = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{\delta} \quad (\text{W}) \quad (\text{Equação 1.1})$$

onde  $Q_c$  se designa por transmissão de calor (W);  $\lambda$  por condutibilidade térmica expressa em W/m.°C;  $T_1$  e  $T_2$  as temperaturas nas duas faces da camada (°C), e  $A$  a área do elemento construtivo (m<sup>2</sup>). A Figura 1.1 representa o mecanismo de transmissão de calor por condução.



**Figura 1.1 – Transmissão de calor por condução através de um material**

(Fonte: Hinrichs e Kleinbach, 2006)

Importa referir que a condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) (expressa em  $W/m.K$  ou  $W/m. ^\circ C$ ) é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogéneos e que representa a quantidade de calor (expressa em  $W$  por unidade de área ( $m^2$ )) que atravessa uma espessura unitária ( $m$ ) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura ( $^\circ C$  ou  $K$ ) (Matias e Santos, 2006).

A transmissão de calor dá-se por fenómenos de convecção nos casos em que um fluido, líquido ou gasoso, entra em contacto com um objecto cuja temperatura é superior à do fluido. A parte deste, em contacto com o objecto aumenta a sua temperatura, expandindo-se e tornando-se menos denso. Deste modo, o fluido mais leve do que o fluido frio tende a elevar-se, sendo que o fluido que se encontra mais frio escoar e ocupar o espaço do fluido que se elevou.

Nos edifícios, o fluido usualmente em causa é o ar, sendo a partir deste que se verificam os fenómenos de convecção ar-sólido e ar-ar. No primeiro dão-se transmissões de calor entre as faces dos elementos construtivos e o ambiente com o qual se encontram em contacto, enquanto que no segundo ocorrem apenas entre massas de ar a diferentes temperaturas.

A transmissão de calor por convecção depende, essencialmente, da velocidade do fluido e do regime de escoamento, que poderá ser laminar ou turbulento. No caso da convecção ar-ar a taxa de ventilação do local, o seu volume e a diferença de temperatura entre as massas de ar em contacto constituem os factores condicionantes.

Por outro lado, se se estiver na presença de um mecanismo de convecção ar-sólido é possível traduzir as trocas de calor por coeficientes específicos, designados por condutâncias térmicas superficiais, e obviamente a diferença de temperatura entre o fluido e o sólido. A convecção pode ser natural, se gerada internamente devido à não-homogeneidade da densidade por diferenças de temperatura, ou forçada, quando o fluxo é produzido por fontes externas.

A transmissão de calor entre a superfície e o fluido é função da diferença das temperaturas respectivas, bem como da velocidade do fluido, da rugosidade da superfície e de diversos outros factores (Mimoso, 1987). De acordo com a Lei do Arrefecimento de Newton, a transmissão de calor entre a superfície de uma placa e o fluido é dada por:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad (\text{W}) \quad (\text{Equação 1.2})$$

onde  $A$  representa a área da superfície ( $\text{m}^2$ );  $h$  a condutância térmica superficial por convecção, expressa em  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $T_s$  e  $T_f$  as temperaturas da superfície e do fluido ( $^\circ\text{C}$ ), respectivamente.

A radiação térmica constitui um outro fenómeno de transmissão de calor, no qual ocorrem trocas de energia térmica entre duas superfícies, a diferentes temperaturas, por meio de ondas electromagnéticas, não sendo necessária a existência de um meio de transferência de calor.

No caso da ocorrência destes fenómenos nos edifícios, tem-se que todos os corpos emitem e recebem radiações, sendo que a quantidade de energia emitida é função da sua temperatura absoluta e das propriedades da sua superfície. Deste modo, verifica-se a ocorrência de radiação numa gama de comprimentos de onda mais elevada do espectro electromagnético do que a radiação emitida pelo Sol (Valério, 2007).

A taxa com que um objecto emite energia via radiação electromagnética depende da área da sua superfície ( $A$ ) e da temperatura absoluta ( $T$ ) dessa área, como se apresenta na seguinte expressão:

$$Q = \sigma \epsilon A T^4 \quad (\text{W}) \quad (\text{Equação 1.3})$$

Nesta equação,  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzman e tem o valor de  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ , sendo  $\varepsilon$  a emissividade da superfície.

## 1.2 Isolamento Térmico

O isolamento térmico da envolvente da construção traduz a capacidade que aquela tem de se opor à passagem de calor (do interior para o exterior, no Inverno, ou no sentido contrário, no Verão) entre os ambientes que separa e, por isso, minimizar a quantidade de calor e/ou frio que é necessária fornecer para que o edifício se mantenha à temperatura desejada (Piedade *et al*, 2000).

O uso de isolamento térmico tem como principal finalidade aumentar a resistência térmica da envolvente do edifício, permitindo a redução das trocas de calor entre o edifício e o exterior e, por esta via, as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento. Por outro lado, o aumento da resistência térmica contribui ainda para a diminuição do risco de ocorrência de condensações superficiais na medida em que tem como consequência uma aproximação entre os valores da temperatura superficial interior e da temperatura ambiente exterior.

Os materiais isolantes térmicos têm propriedades próprias, apresentando valores de  $\lambda \leq 0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e  $R > 0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  (Matias e Santos, 2006), de modo a garantir que a espessura da camada aplicada é suficiente para reduzir o fluxo de calor para valores que possam ser considerados adequados no contexto dos fenómenos correntes em edifícios. A resistência térmica de um elemento de construção ( $R$ ) é o inverso da quantidade de calor por unidade de tempo e por unidade de área que atravessa o elemento de construção por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces (DL 80/2006).

Esta diminuição do fluxo de calor pela envolvente do edifício permite conservar a energia, já que são reduzidas as trocas de calor e as flutuações térmicas dos espaços, aumentando, deste modo, o conforto térmico.

Tendo por base uma construção sustentável importa avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista técnico-económico, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (aplicação de isolante térmico) com os custos de exploração (consumo de energia) (Freitas, 2007).

Os isolamentos térmicos podem ser classificados segundo a sua natureza (mineral vegetal ou sintética), a sua estrutura (fibrosa, celular ou mista), o seu modo de produção (pré-fabricados ou formados “in-situ”) e a sua apresentação (rígidos, semi-rígidos ou granulares).

Podem ser aplicados de diversos modos, sendo que do seu posicionamento resultam desempenhos térmicos também diferentes. A sua aplicação pode ocorrer, genericamente, nas faces exterior ou interior de paredes, preenchendo parcial ou totalmente os espaços de ar entre panos de paredes duplas em pavimentos e em coberturas.

Torna-se importante salientar que a norma europeia ISO 9774:2004 fornece informação relativamente a materiais de isolamento térmico para aplicações em edifícios.

### **1.3 Pontes Térmicas**

Consideram-se pontes térmicas as zonas da envolvente de um edifício nas quais, devido à sua constituição, se verificam fenómenos localizados de aumento da taxa de transferência de calor, resultando na diminuição das características de isolamento térmico desses locais relativamente à denominada zona corrente. Neste conceito englobam-se ainda todas as partes de um edifício onde não é possível admitir a hipótese de unidireccionalidade do fluxo de calor. Este fenómeno físico é caracterizado pela existência de linhas de fluxo de calor com direcções não unidireccionais consoante a resistências oferecida à passagem de calor (Valério, 2007). Deste modo, a simplificação assumida em zona corrente de ocorrência de fluxo de calor unidireccional perpendicular à superfície não é razoável. Como consequência, estas zonas da envolvente alteram significativamente a eficiência térmica do edifício, aumentando as perdas de calor no Inverno assim como os ganhos de calor no Verão (Larbi, 2005).

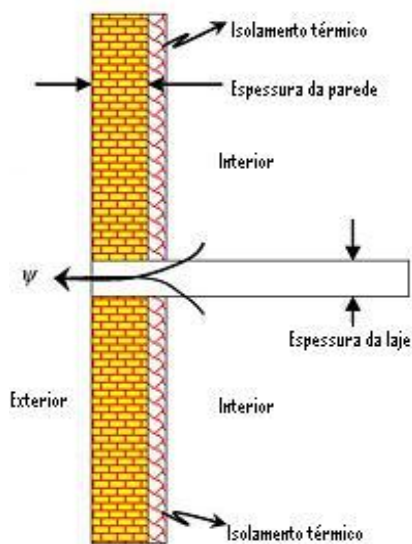


As pontes térmicas são consequência de heterogeneidades, tanto geométricas como estruturais. Transições entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas alterações na espessura de um elemento, diferenças entre áreas interiores e exteriores.

A temperatura da superfície interior sobre a ponte térmica é inferior à registada na construção adjacente durante a estação de aquecimento. A diferença de temperatura origina condensação, resultando na diminuição da qualidade do ar interior (Larbi, 2005).

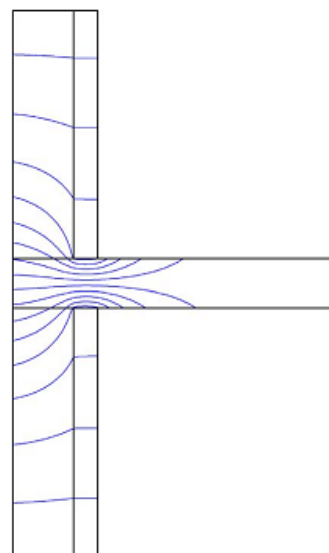
Existem três tipos diferentes de pontes térmicas. As pontes térmicas planas são caracterizadas por uma descontinuidade superficial no elemento construtivo, através da qual se verifica um aumento da taxa de transmissão de energia pelo facto de serem zonas com menor resistência térmica. Um caso típico é o de elementos estruturais em betão armado situados entre paredes. As pontes térmicas lineares são constituídas pela ligação de dois ou mais elementos construtivos e, caracterizam-se por uma transmitância térmica linear ( $W/m.K$ ). As pontes térmicas pontuais resultam geralmente da existência de materiais ou de elementos de fixação auxiliares, de condutibilidade térmica elevada, que perfuram um elemento construtivo termicamente isolado. Este tipo de ponte térmica é caracterizado por uma transmitância térmica pontual ( $W/K$ ) (Larbi, 2005).

As Figuras 1.2 e 1.3 representam a transmissão de calor e visualização das linhas de fluxo de calor através de uma ponte térmica linear.



**Figura 1.2 – Transmissão de calor através de uma ponte térmica linear**

(Fonte: Larbi, 2005)



**Figura 1.3 - Visualização das linhas de fluxo de calor através de uma ponte térmica linear**

(Fonte: Larbi, 2005)

A existência de pontes térmicas em edifícios potencia gastos energéticos acrescidos, reduzindo a resistência térmica da envolvente do edifício, sendo que uma parte importante das perdas térmicas poderá ocorrer nestes locais. Deste modo, verifica-se a redução dos níveis de conforto, o provável risco de condensações e o consequente aparecimento de patologias construtivas e funcionais, que, por sua vez, aumentam os custos em manutenção e diminuem a durabilidade dos materiais (Valério, 2007).

No que diz respeito aos métodos de cálculo para pontes térmicas lineares e temperaturas superficiais importa referir que os mesmos são descritos na norma europeia EN ISO 10211-2 (Larbi, 2005).

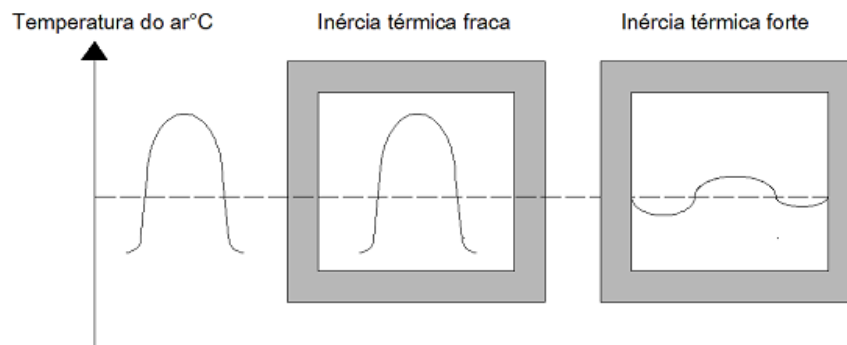
## 1.4 Inércia Térmica

A inércia térmica, que constitui uma importante característica da construção, depende da difusividade térmica e da efusividade dos materiais usados. Deste modo, a inércia térmica causa

dois importantes efeitos no fluxo de calor entre os ambientes exterior e interior; são eles a redução de amplitudes térmicas no espaço interior e o desfasamento temporal da flutuação da temperatura exterior em relação às temperaturas exteriores. Este fenómeno também pode ser caracterizado como a capacidade do edifício armazenar calor e o libertar mais tarde (Dornelles e Roriz, 2004).

A inércia de um edifício traduz então a reacção que aquele apresenta a modificar o seu estado térmico, isto é, a maior ou menor rapidez com que “arrefece” ou “aquece” (Piedade *et al*, 2000).

É de realçar que nos edifícios com uma baixa inércia térmica registam-se variações térmicas nos espaços interiores que se aproximam das registadas no ambiente exterior. Segundo Norén *et al* (1999), os edifícios que apresentam inércias térmicas mais elevadas têm necessidades de consumos energéticos mais baixas, sendo que uma pequena variação no que diz respeito à inércia térmica aumenta o consumo energético daqueles. Na Figura 1.4 distinguem-se as situações de fraca e forte inércia térmica, com os seus efeitos no que diz respeito às oscilações térmicas.



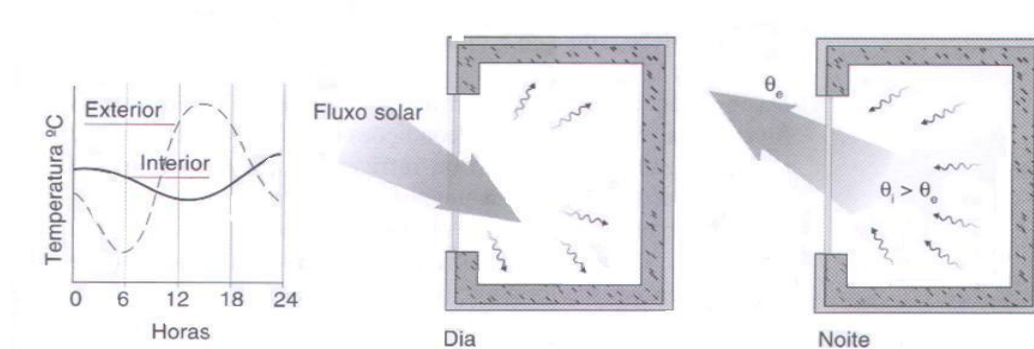
**Figura 1.4 - Efeito da inércia térmica**

(Fonte: Atalaia, 2008)

Dependendo do tipo de clima, a inércia térmica poderá afectar de um modo negativo, positivo ou neutro a eficiência térmica e consumo energético do edifício. Nas zonas climáticas onde se verificam oscilações substanciais de temperatura diária a eficiência térmica do edifício dependerá, directamente, da forte ou fraca inércia térmica (Dornelles e Roriz, 2004).

No entanto, para que se obtenha uma inércia térmica de construção elevada torna-se necessária a colocação eficaz do material de isolamento térmico na envolvente do edifício. A título de exemplo são considerados dois casos específicos.

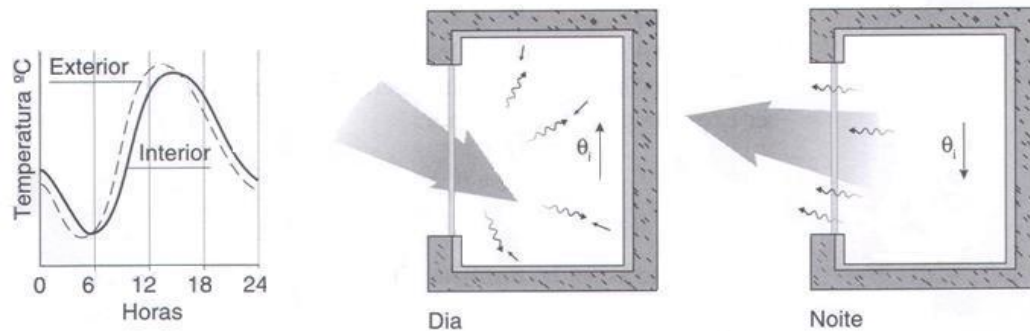
No Caso A (Figura 1.5) a massa da parede exterior de um edifício encontra-se em contacto directo com o ambiente interior e protegida do ambiente exterior por um material de isolamento térmico. Verifica-se, então, uma forte radiação solar durante o período diurno e uma grande elevação da temperatura do ar no exterior do edifício. Por conseguinte, há uma “injecção” de calor no compartimento, pela radiação solar através da vidraça e dos mecanismos de transmissão de calor abordados anteriormente. Parte deste calor “penetra” na envolvente interior que necessita de uma enorme quantidade de calor para uma pequena elevação da temperatura. Durante o período nocturno a temperatura do ar exterior sofre uma acentuada e rápida queda, observando-se perdas térmicas do ambiente interior para o exterior. No entanto, como a massa interna das paredes e lajes vai libertando o calor acumulado durante o dia verifica-se que a diminuição da temperatura do ar interior é lenta (Piedade *et al*, 2000).



**Figura 1.5 – Caso A: Variação das temperaturas interior e exterior. Fluxos de calor diurno e nocturno.**  
(Fonte: Piedade, 2000)

No Caso B (Figura 1.6) a massa da parede encontra-se separada do ambiente interior por um revestimento de isolamento térmico. Tem-se que o fluxo de calor do ar exterior para o ar interior do edifício se traduz na elevação quase instantânea da temperatura do ar interior, dado que a posição do material de isolamento térmico impede a absorção de calor pela massa dos elementos interiores. Deste modo, não se verificou a acumulação de calor naqueles elementos ao longo do

dia o que se traduz na queda abrupta da temperatura no ambiente interior, durante o período nocturno (Piedade *et al*, 2000).



**Figura 1.6 – Caso B: Variação das temperaturas interior e exterior. Fluxos de calor diurno e nocturno.**

(Fonte: Piedade, 2000)

Pela análise dos gráficos das Figuras 1.5 e 1.6 conclui-se que no Caso A a colocação eficiente do revestimento de isolamento térmico permite alcançar uma inércia térmica de construção bastante superior à verificada no Caso B, onde, por esse motivo, as oscilações térmicas do ambiente interior são muito superiores, o que se traduz numa eficiência térmica deficiente do edifício, implicando um consumo energético superior, comparativamente com o Caso A.

## 1.5 Conforto Térmico

Uma das necessidades básicas de um edifício é a de fornecer aos seus utilizadores conforto térmico. Nos tempos modernos, este conceito encontra-se, geralmente, associado ao uso de sistemas mecânicos de aquecimento e de arrefecimento dos espaços interiores. A arquitectura mais antiga e presente em inúmeros edifícios por todo o mundo apresentava já características que conduziam à obtenção de conforto térmico. Mais concretamente, a forma do edifício assim como diversas partes do mesmo, como espaços interiores, portas e janelas, encontravam-se localizadas e orientadas com o objectivo de obter a melhor eficiência térmica no contexto de um determinado tipo de clima. Também a importância da existência de árvores e vegetação assim como de cursos de água em redor do edifício se tornavam bem apreciados no que diz respeito

conforto térmico alcançado. Nos tempos correntes, pretende-se usar estas técnicas de construção a par de outras mais evoluídas, a partir das quais se garante o conforto térmico aos utilizadores do edifício, com o mínimo dispêndio de energia (Sharma and Dhote, 2003).

Conforto térmico é definido como sendo a condição para qual a mente expressa satisfação com o ambiente térmico, sentindo preferência pela temperatura corrente associada (Gaitini *et al.*, 2005). O conceito de conforto térmico é complexo e depende de diversos factores que o influenciam directamente. Segundo a ISO 7730, o conforto térmico depende de diferentes parâmetros, individuais e ambientais.

Nos primeiros englobam-se o metabolismo do indivíduo, o trabalho e o vestuário do mesmo. O metabolismo corresponde à taxa de utilização de energia pelo corpo, dividindo-se no metabolismo basal e de actividade, sendo que o primeiro corresponde à taxa verificada durante o repouso absoluto e o segundo como esforço físico do indivíduo. A idade e o sexo do indivíduo são dois importantes factores que influenciam directamente o metabolismo daquele, e, por conseguinte, o calor emitido pelo mesmo. O trabalho realizado pelo indivíduo corresponde ao tipo de actividade que o mesmo exerce, podendo ser quantificado através da variação da energia cinética e potencial. O organismo converte parte dos alimentos ingeridos em energia, segundo o tipo de actividade exercida (Gaitini *et al.*, 2005). Dependendo do tipo de vestuário do indivíduo verificam-se diferentes valores de resistências térmicas que, por sua vez, condicionam a libertação de calor do indivíduo para o espaço interior do edifício (Águas, 2001).

No que diz respeito aos parâmetros ambientais, tem-se que a temperatura do ar, a velocidade do ar, a humidade relativa e a temperatura média radiante constituem os principais factores determinantes para o conforto térmico. É sabido que a temperatura do ar afecta directamente as variações térmica e teores de humidade relativa, assim como o coeficiente de transmissão de calor. A velocidade do ar afecta as perdas de calor por convecção e evaporação. Note-se que existe sempre a velocidade mínima de  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ , resultante ao movimento natural e permanente do ar. A humidade relativa apresenta um pequeno impacte quando o indivíduo não transpira. Por outro lado, a humidade tem um efeito elevado na evaporação proveniente da transpiração e, desse modo, a própria humidade da pele. Como temperatura média radiante entende-se a

temperatura uniforme do espaço envolvente, tratado como corpo negro, a que corresponde uma perda de energia pelo indivíduo igual à perda verificada para o espaço envolvente em consideração (Gaitini *et al.*, 2005).

Também a radiação solar e a velocidade do vento constituem factores com impactes directos no conforto térmico de edifícios.

A radiação solar, no que diz respeito ao comportamento estrutural de edifícios, constitui uma acção térmica exterior sobre as estruturas daqueles sobretudo quando as mesmas se encontram expostas (como estruturas metálicas ou betão “à vista”), para além do comportamento higrotérmico. Isto sucede-se porque aquele parâmetro ambiental pode representar um contributo para a satisfação das exigências de inverno e é o factor mais condicionante para as exigências de conforto em períodos de verão. Note-se que a superfície de um edifício poderá ser atingida por três tipos de radiação solar: a radiação directa, que atravessa a atmosfera unidireccionalmente; a radiação difusa, que atinge a superfície terrestre após múltiplas reflexões nas partículas em suspensão na atmosfera; e a radiação reflectida pelo contorno (albedo) que dependa da rugosidade e tipo de materiais que compõem as superfícies aparentes desse contorno, podendo atingir valores entre 3 % e 85 % da radiação total incidente (Piedade *et al.*, 2000).

Outro factor da importância extrema é a velocidade e rumo predominante do vento, no sentido em que influencia a possibilidade de ventilação dos edifícios, o seu comportamento térmico, o controlo das humidades dos edifícios, para além do facto da forma de como as estruturas daqueles poderem ser solicitadas (Piedade *et al.*, 2000).

É de realçar que as normas sobre conforto térmico visam não só obter um ambiente interior dos edifícios que seja do ponto de vista térmico confortável para os seus utilizadores, mas também garantir que o mesmo conforto térmico seja alcançado a partir do menor consumo energético possível.

## 1.6 Coeficiente de Transmissão Térmica

A noção de coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) de um elemento da envolvente refere-se à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa (DL 80/2006).

No seu método de cálculo, a partir da EN ISO 6946:1996, considera-se que os valores de  $U$ , expressos em  $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , representam o inverso da soma das resistências térmicas superficiais ( $\Sigma R_s$ ) dos elementos da envolvente, ou seja, o somatório das condutâncias térmicas dos mesmos elementos. No caso de uma parede simples exterior, o valor final de  $U$  é obtido a partir do inverso do total das resistências térmicas dos elementos presentes nessa mesma parede, onde se incluem soluções construtivas e soluções de isolamento térmico.

Neste exemplo o método de cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica assentaria na expressão seguinte:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 1.4})$$

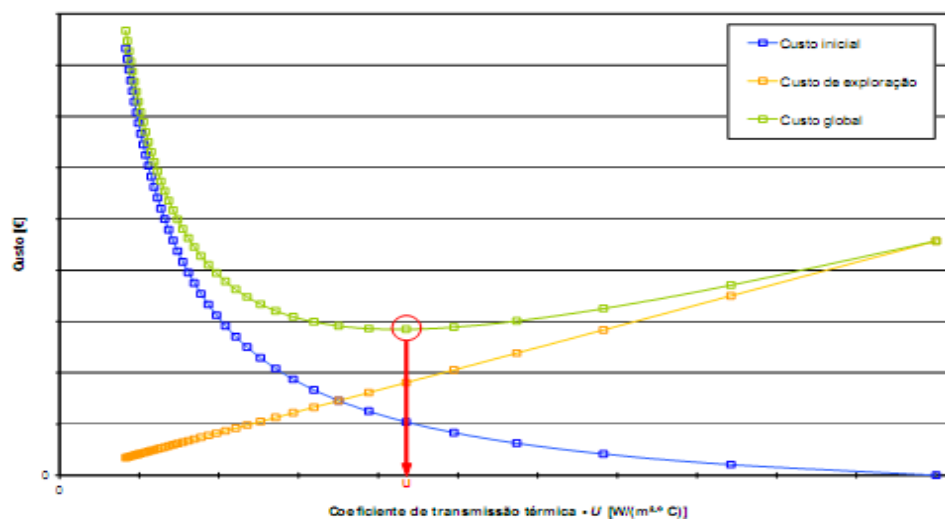
onde  $R_{si}$  traduz a resistência térmica da superfície interior,  $\sum_j R_j$  o somatório resistências térmicas das camadas intermédias dos elementos construtivos, e  $R_{se}$  a resistência térmica da superfície exterior (DL 80/2006).

O valor  $R_s$  reflecte a resistência de um elemento isolado aos fluxos de calor, o que significa que valores de  $R_s$  altos traduzem eficientes isolamentos térmicos. Este valor depende do tipo de isolamento térmico, material, espessura e densidade (Peng e Wu, 2008). Para além destes factores, também o método de instalação do isolamento térmico assim como o lugar onde o mesmo é aplicado têm implicações directas nos valores de  $R_s$  obtidos.



Relativamente ao RCCTE é necessário referir que o mesmo implica a redução em cerca de 50% dos valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica, relativamente aos antigos valores (Freitas, 2007). Para além da diminuição dos valores dos coeficientes de transmissão térmica em zona corrente, também é imposta uma limitação dos valores de  $U$  nas zonas de ponte térmica plana, relativamente ao valor de  $U$  da zona corrente adjacente, assim como a obrigatoriedade do uso de valores de  $U$  nas pontes térmicas planas terem de ser menores do que os valores máximos admissíveis.

Apresentam-se, na Figura 1.7, as curvas correspondentes ao custo inicial, custo de exploração e custo global para o isolamento térmico de um elemento construtivo, em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ).



**Figura 1.7 - Variação do custo global associado ao isolamento de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica.**

(Fonte: Freitas, 2007)

Da análise da Figura 1.7 conclui-se que a redução do valor de coeficiente de transmissão térmica resultante do aumento da espessura de isolamento térmico, corresponde a um maior investimento inicial e a menores consumos energéticos durante a exploração do edifício. Também a partir do valor mínimo da curva de custo global se torna possível definir a espessura de isolamento térmico economicamente mais vantajosa.

Com o projecto e construção tendo por base os valores mais baixos de  $U$  pretende-se construir com maior eficiência energética, maior conforto, de forma mais sustentável e com durabilidade (Freitas, 2007).

## 1.7 Envolvente de Edifícios

Consideram-se dois tipos de envoltentes presentes num edifício e/ou fracção autónoma. São eles a envolvente exterior e a envolvente interior.

A primeira representa o conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior, ao passo que a envolvente interior representa a fronteira que separa a fracção autónoma de ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos “não úteis”), tais como garagens ou armazéns, bem como de outras fracções autónomas adjacentes em edifícios vizinhos (DL 80/2006).

Importa referir que, segundo o RCCTE, ao elemento que separa o espaço interior útil do espaço “não útil” são aplicados os requisitos mínimos definidos para a envolvente exterior, sempre que o valor do parâmetro  $\tau$  for superior a 0,7 (DL 80/2006). O coeficiente  $\tau$  é calculado a partir da expressão seguinte:

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad (\text{Equação 1.5})$$

onde  $\theta_i$  representa a temperatura interior;  $\theta_{atm}$  a temperatura ambiente exterior (°C); e  $\theta_a$  a temperatura do local não aquecido (°C). Deste modo, o coeficiente  $\tau$  pode ser descrito como sendo o quociente entre a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil e a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente interior. Aquele coeficiente pode tomar os valores convencionais presentes no RCCTE, tendo por base os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica, em valores típicos das taxas de renovação de ar, assim como na metodologia indicada na norma europeia EN ISO 13789.

## 1.8 Balanço Energético em Edifícios

A questão do balanço térmico em edifícios tem sido objecto de estudo, cada vez mais pormenorizado, com vista a identificar possíveis perdas de calor através da envolvente dos edifícios que possam ser evitadas e/ou minimizadas. Deste modo, foram formuladas as equações de base das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma, em vigor no actual Decreto-Lei nº 80/2006.

Aquelas equações, a par da expressão relativa ao cálculo as necessidades anuais de energia útil para preparação de água quente sanitária, constituem a base de cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária expressas pela Equação 1.6.

$$N_{tc} = 0,1 (N_{ic}/\eta_i).F_{pui} + 0,1 (N_{vc}/\eta_v).F_{puv} + N_{ac}.F_{pua} \quad (\text{kgep/m}^2.\text{ano}) \quad (\text{Equação 1.6})$$

onde  $N_{ic}$  representa as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;  $N_{vc}$  as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;  $N_{ac}$  as necessidades anuais de energia útil para preparação de água quente sanitária;  $\eta_i$  e  $\eta_v$  as eficiências nominais dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, respectivamente;  $F_{pui}$ ,  $F_{puv}$  e  $F_{pua}$  os factores de conversão entre energia útil e energia primária respeitantes aos sistemas de aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, e de preparação de água quente sanitária considerados, respectivamente.

Torna-se importante referir que, de acordo com aquele Decreto-Lei, são estabelecidas limitações máximas no que diz respeito às necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma. Por conseguinte, tem-se que o valor máximo das necessidades nominais globais anuais de energia primária é traduzido pela seguinte expressão:

$$N_t = 0,9 (0,01.N_i + 0,01.N_v + 0,15.N_a) \quad (\text{kgep/m}^2.\text{ano}) \quad (\text{Equação 1.7})$$

onde a  $N_i$  corresponde o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;  $N_v$  o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de

energia útil para arrefecimento e a  $N_a$  o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias.

Às necessidades nominais de aquecimento de uma fracção autónoma ( $N_{ic}$ ) corresponde a energia útil necessária fornecer-lhe de forma a manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência definida no artigo 14.º do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) durante toda a estação de aquecimento (DL 80/2006).

No que diz respeito aos métodos de cálculo em vigor no RCCTE importa realçar que os mesmos se basearam em diversas normas europeias, algumas já citadas no presente trabalho, a partir das quais se identificaram aqueles, presentes no regulamento.

As necessidades anuais de aquecimento ( $N_{ic}$ ) de um edifício ou fracção autónoma são calculadas de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu})/A_p \quad (\text{kWh/m}^2.\text{ano}) \quad (\text{Equação 1.8})$$

sendo que  $Q_t$  representa as perdas de calor por condução através da envolvente;  $Q_v$  as perdas de calor resultantes da renovação de ar;  $Q_{gu}$  os ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados; e  $A_p$  a área útil do pavimento. O seu método de cálculo baseia-se na norma EN ISO 13790.

As perdas de calor pela envolvente (paredes, envidraçados, cobertura e pavimentos) durante a estação de aquecimento, resultantes da diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, são determinadas de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (\text{W}) \quad (\text{Equação 1.9})$$

onde  $Q_{ext}$  representa as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior;  $Q_{lna}$  as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos;  $Q_{pe}$  as

perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo; e  $Q_{pt}$  as perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício.

Por sua vez, as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, pontes térmicas planas, envidraçados, coberturas e pavimentos exteriores ( $Q_{ext}$ ) são calculadas, num determinado momento e para cada um desses elementos, pela expressão:

$$Q_{ext} = U.A.(\theta_i - \theta_{atm}) \quad (W) \quad (\text{Equação 1.10})$$

Sendo que  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente ( $W/m^2.^\circ C$ );  $A$  a área do elemento da envolvente medida pelo interior ( $m^2$ );  $\theta_i$  representa a temperatura interior ( $^\circ C$ ); e  $\theta_{atm}$  a temperatura ambiente exterior ( $^\circ C$ ).

No entanto, durante a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar aquelas perdas é, para cada elemento da envolvente exterior, determinada por:

$$Q_{ext} = 0,024. U.A.GD \quad (kWh) \quad (\text{Equação 1.11})$$

sendo  $GD$  o número de graus-dias de aquecimento especificados para cada concelho.

As perdas pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, e pavimentos que separam um espaço aquecido de um local não aquecido,  $Q_{lna}$ , como armazéns, garagens, sótãos, entre outros, são determinadas, para cada um desses elementos, a partir da seguinte expressão:

$$Q_{lna} = U.A.(\theta_i - \theta_a) \quad (W) \quad (\text{Equação 1.12})$$

onde  $U$ ,  $A$ ,  $\theta_i$  e  $\theta_a$  correspondem ao coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente ( $W/m^2.^\circ C$ ); à área do elemento da envolvente medida pelo interior ( $m^2$ ); à temperatura interior ( $^\circ C$ ); e à temperatura do local não aquecido ( $^\circ C$ ), respectivamente.

Tem-se que, durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar aquelas perdas é, para cada elemento da envolvente em contacto com um local não aquecido, calculada a partir da expressão seguinte:

$$Q_{ext} = 0,024. U.A.GD. \tau \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.13})$$

No que diz respeito à energia necessária para compensar as perdas lineares por pavimentos e paredes em contacto com o solo, durante toda a estação de aquecimento, para cada elemento da envolvente em contacto com o solo, é determinada segundo a expressão seguinte:

$$Q_{pe} = 0,024. L_{pe}. GD \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.14})$$

onde  $L_{pe}$  representa as perdas unitárias de calor, por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior, através dos elementos de construção em contacto com o terreno, sendo determinadas por:

$$L_{pe} = \sum \psi_j.B_j \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 1.15})$$

sendo  $\psi$  o coeficiente de transmissão térmica linear (W/m.  $^\circ\text{C}$ ) e  $B$  o perímetro do pavimento ou o desenvolvimento da parede, medido pelo interior (m).

Relativamente à última parcela da expressão de  $Q_t$ , tem-se que a energia necessária para compensar as perdas térmicas lineares, para cada ponte térmica da envolvente, é calculada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{pt} = 0,024.L_{pt}.GD \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.16})$$

em que  $L_{pt}$  representa as perdas de calor lineares unitárias (por grau centígrado de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através das pontes térmicas planas que, por sua vez, são calculadas através da seguinte expressão:

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad (\text{W/}^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 1.17})$$

sendo  $\psi_j$  o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica  $j$  (W/m.  $^\circ\text{C}$ ) e  $B_j$  o comprimento da ponte térmica  $j$ , medido pelo interior (m).

No que diz respeito às perdas de calor resultantes da renovação de ar ( $Q_v$ ) presentes na expressão das necessidades anuais de aquecimento ( $N_{tc}$ ), tem-se que, para toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar aquelas perdas é calculada através da expressão:

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.18})$$

onde  $R_{ph}$  representa o número de renovações horárias do ar interior (taxa de renovação nominal);  $A_p$  a área útil do pavimento ( $\text{m}^2$ );  $P_d$  o pé-direito médio (m); e  $GD$  o número de graus-dias de aquecimento especificados para cada concelho.

No caso de a ventilação ser assegurada por meios mecânicos providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, a energia necessária é calculada através da expressão:

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \cdot (1 - \eta_v) \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.19})$$

em que  $\eta_v$  é o rendimento do sistema de recuperação de calor.

Relativamente à taxa de renovação nominal interessa referir que a mesma terá de ser a garantida com um valor igual ou superior a  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , por ventilação natural ou mecânica. No caso da ventilação natural, adopta-se o valor de  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , sempre que os edifícios estejam em conformidade com as disposições na norma NP 1037-1.

Se se recorrer a um tipo de ventilação através de sistemas mecânicos, a taxa de renovação horária é calculada a partir da seguinte expressão:

$$R_{ph} = \frac{V_f + V_x}{V} \quad (\text{Equação 1.20})$$

onde  $V_f$  representa o caudal média diário, a partir do qual é calculado a taxa de renovação horária, e considerado em sistemas de caudal variável; para além deste, são também considerados os valores do caudal insuflado  $V_{ins}$  ou do caudal extraído do edifício  $V_{ev}$ .  $V_x$  é o caudal adicional correspondente a infiltrações devidas aos efeitos do vento e da chaminé. Consoante a exposição (1, 2 e 3 ou 4) do edifício a considerar, tomam-se como valores de  $V_x$  0,3 h<sup>-1</sup>, 0,7 h<sup>-1</sup> e 1h<sup>-1</sup>, respectivamente.

O processo de ventilação natural, no qual se dá a introdução e remoção do ar através de aberturas intencionalmente realizadas e com recurso a processos naturais, não exige gastos energéticos, não garantindo também taxas de renovação constantes. Por outro lado, o processo de ventilação mecânica, onde a introdução e remoção de ar ocorre a partir de processos mecânicos, pode assegurar taxas de renovação de ar constantes, com gastos energéticos.

Os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento ( $Q_{gu}$ ), presentes na expressão de cálculo das necessidades anuais de aquecimento, são determinados a partir de os ganhos térmicos brutos ( $Q_g$ ) e do seu produto pelo factor de utilização dos ganhos térmicos ( $\eta$ ) como indica expressão seguinte:

$$Q_{gu} = \eta Q_g \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.21})$$

Por sua vez, os ganhos térmicos brutos são calculados a partir da soma dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ( $Q_i$ ) e dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar ( $Q_s$ ):

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.22})$$

Os ganhos térmicos internos incluem os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação, e são calculados, para toda a estação de aquecimentos, a partir da seguinte expressão:

$$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \cdot 0,720 \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.23})$$



onde  $q_i$  são os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento ( $\text{W/m}^2$ ) numa base de vinte e quatro horas por dia, ao longo de todo o ano, no caso dos edifícios residenciais, e em cada dia em que se registre ocupação, nos edifícios de serviços;  $M$  a duração média da estação convencional de aquecimento em meses; e  $A_p$  a área útil do pavimento ( $\text{m}^2$ ).

Os ganhos solares, na estação de aquecimento, são calculados pela seguinte expressão:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j [X_j \sum_n A_{snj}] \cdot M \quad (\text{Equação 1.24})$$

onde  $G_{sul}$  é o valor médio mensal da energia solar incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento ( $\text{kWh/m}^2$ );  $X_j$  o factor de orientação para as diferentes exposições;  $A_{snj}$  a área efectiva colectora da radiação solar da superfície  $n$  que tem a orientação  $j$  ( $\text{m}^2$ );  $j$  o índice que corresponde a cada uma das orientações;  $n$  o índice que corresponde a cada uma das orientações; e  $M$  a duração da estação de aquecimento (meses).

O valor de  $A_s$  é calculado pelo produto entre a área total ( $A$ ), os factor de obstrução ( $F_s$ ), a fracção envidraçada ( $F_g$ ), o factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar ( $F_w$ ) e o factor solar  $g_{\perp}$ , como indica a expressão seguinte:

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{Equação 1.25})$$

Às necessidades nominais de arrefecimento de uma fracção autónoma de um edifício corresponde a energia útil necessária retirar-lhe de modo a que a temperatura no seu interior se mantenha de acordo com a temperatura de referência definida no artigo 14.º do RCCTE durante toda a estação convencional de arrefecimento, que inclui os meses de Junho a Setembro (DL 80/2006).

De acordo com este regulamento, as necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) de um edifício ou fracção autónoma são calculadas a partir da seguinte expressão:

$$N_{vc} = Q_g \cdot (1 - \eta)/A_p \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (\text{Equação 1.26})$$

onde  $Q_g$  representa os ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma;  $\eta$  o factor de utilização dos ganhos (n.º 4.4 do anexo IV); e  $A_p$  a área útil do pavimento.

O cálculo dos ganhos totais brutos é realizado através da soma de quatro parcelas, são as cargas individuais devidas a cada componente da envolvente, devidas aos fenómenos combinados da diferença de temperatura interior-exterior e da incidência da radiação solar ( $Q_1$ ); as cargas resultantes da entrada de radiação solar através dos envidraçados ( $Q_2$ ); as cargas resultantes da renovação do ar ( $Q_3$ ); e as cargas internas, devidas aos ocupantes, equipamentos e iluminação artificial ( $Q_4$ ).

No que diz respeito aos ganhos através de cada componente da envolvente, tem-se que, para toda a estação de arrefecimento, os mesmos são traduzidos pela expressão seguinte:

$$Q_1 = 2,928 \cdot U \cdot A \cdot (\theta_m - \theta_i) + U \cdot A \cdot \left( \frac{\alpha \cdot I_r}{h_e} \right) \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.27})$$

em que  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento da envolvente ( $\text{W/m}^2$ );  $A$  a área do elemento da envolvente ( $\text{m}^2$ );  $\theta_m$  a temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática de Verão onde se localiza o edifício ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\theta_i$  a temperatura do ambiente interior ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I_r$  a intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento; e  $h_e$  a condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que toma o valor de  $25 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

No cálculo dos ganhos solares através dos envidraçados é usada a seguinte expressão:

$$Q_2 = \sum_j [I_{rj} \sum_n A_{snj}] \quad (\text{kWh}) \quad (\text{Equação 1.28})$$

onde  $I_r$  é a energia solar incidente nos envidraçados por orientação  $j$  e  $A_{snj}$  a área efectiva colectora da radiação solar da superfície  $n$  que tem a orientação  $j$  ( $m^2$ ).

A parcela das cargas resultantes da renovação do ar é determinada pela expressão:

$$Q_3 = 2,928 (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) (\theta_m - \theta_i) \text{ (kWh)} \quad \text{(Equação 1.29)}$$

Onde  $R_{ph}$  traduz o número de renovações horárias do ar interior;  $A_p$  a área útil do pavimento ( $m^2$ );  $P_d$  o pé-direito médio (m);  $\theta_m$  a temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática de Verão onde se localiza o edifício ( $^{\circ}C$ ); e  $\theta_i$  a temperatura do ambiente interior ( $^{\circ}C$ ).

Por último, os ganhos internos são calculados a partir de:

$$Q_4 = 2,928 \cdot q_i \cdot A_p \text{ (kWh)} \quad \text{(Equação 1.30)}$$

onde  $q_i$  traduz os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento ( $W/m^2$ ) e  $A_p$  a área útil do pavimento ( $m^2$ ).

Segundo o Anexo VI, presente no Decreto-Lei nº 80/2006, as necessidades anuais de energia útil para preparação de água quente sanitária (AQS) ( $N_{ac}$ ) são calculadas a partir da seguinte expressão:

$$N_{ac} = (Q_a/\eta_a - E_{solar} - E_{ren})/A_p \text{ (kWh}/m^2\text{.ano)} \quad \text{(Equação 1.31)}$$

onde  $Q_a$  é a energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;  $\eta_a$  a eficiência de conversão desses sistemas;  $E_{solar}$  a contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS;  $E_{ren}$  a contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS, assim como quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou fluidos residuais; e  $A_p$  a área útil do pavimento.

Para o cálculo da energia dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS durante um ano é utilizada a seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3\,600\,000} \quad (\text{Equação 1.32})$$

em que  $M_{AQS}$  é o consumo médio diário de referência de AQS;  $\Delta T$  o aumento de temperatura necessário para preparar as AQS; e  $n_d$  o número anual de dias de consumo de AQS.

Por sua vez, o valor de  $M_{AQS}$  é determinado a partir da expressão:

$$M_{AQS} = 401 \times \text{número de ocupantes} \quad (\text{Equação 1.33})$$

sendo o número convencional de ocupantes de casa fracção autónoma definido pelo quadro VI.1, presente no RCCTE.

## 1.9 Factor de Forma

No que diz respeito ao factor de forma ( $FF$ ), torna-se necessário referir que o mesmo constitui um dos parâmetros, presentes no RCCTE, dos quais dependem os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ), presentes na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  apresentada na Equação 1.7.

O factor de forma define o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e interior ( $A_{int}$ ) do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas e o respectivo volume interior ( $V$ ) correspondente (DL 80/2006). A Equação 1.34 traduz o cálculo do factor forma:

$$FF = [A_{ext} + \sum (\tau A_{int})_i] / V \quad (\text{Equação 1.34})$$

De acordo com o Artigo 15.º do RCCTE os valores de  $N_i$  de uma fracção autónoma dependem não só do factor forma daquela, como também do número de graus-dias do clima local, e são os seguintes:

- para  $FF \leq 0,5$ :  $N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$ ;
- para  $0,5 < FF \leq 1$ :  $N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$ ;
- para  $1 < FF \leq 1,5$ :  $N_i = 4,5 + [(0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}].(1,2 - 0,2FF)$
- para  $FF > 1,5$ :  $N_i = 4,5 + 0,06885 \text{ GD}$

sendo  $FF$  calculado de acordo com a Equação 1.34.

## 1.10 Ventilação

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios pretende garantir as condições interiores de referência (referidas no Artigo 14.º) estabelecendo limites não só no que diz respeito aos potenciais de consumo energético em edifícios de habitação, mas também de modo a assegurar uma qualidade do ar interior aceitável do ponto de vista de higiene e conforto para os seus utilizadores.

De acordo com o Artigo 14.º do RCCTE, a taxa de referência para a renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 renovações por hora, devendo as soluções construtivas adoptadas para o edifício ou fracção autónoma, providos ou não de sistemas mecânicos de ventilação, garantir a satisfação desse valor sob condições médias de funcionamento.

Deste modo, os edifícios deverão ser providos de características construtivas ou de dispositivos apropriados que garantam, por ventilação natural ou mecânica, a taxa de renovação mínima necessária atrás mencionada.

No caso de existência de ventilação natural, tem-se que, sempre que as fracções autónomas e/ou edifícios estejam em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, é adoptado o valor de 0,6 renovações horárias.

Para tal, as fachadas dos edifícios deverão dispor de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis que garantam os caudais nominais especificados nos compartimentos servidos para um intervalo de pressões de 10 a 200 Pa, assim como portas exteriores ou para zonas não úteis que disponham de vedação. Para além disso, não poderão existir meios mecânicos de insuflação ou de extracção de ar, como extracção mecânica em instalações sanitárias. Destaque-se, ainda, que, para os casos nos quais se considera que a ventilação no edifício é natural, sem no entanto cumprir a norma NP 1071-1, o valor de  $R_{ph}$  é determinado a partir do Quadro IV.1 do RCCTE, em função da tipologia do edifício, exposição ao vento e da permeabilidade do ar da sua envolvente.

Quando a ventilação recorre a sistemas mecânicos, excluindo a presença apenas de exaustor na cozinha, a taxa de renovação horária é determinada de acordo com a Equação 1.20. Para qualquer edifício com ventilação mecânica, o valor de  $R_{ph}$  nunca poderá ser inferior a  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , não se considerando, de novo, o caudal extraído em exaustores de cozinha.

## 2. PERFÍS ENERGÉTICOS EUROPEU E PORTUGUÊS

### 2.1 Caracterização energética da União Europeia

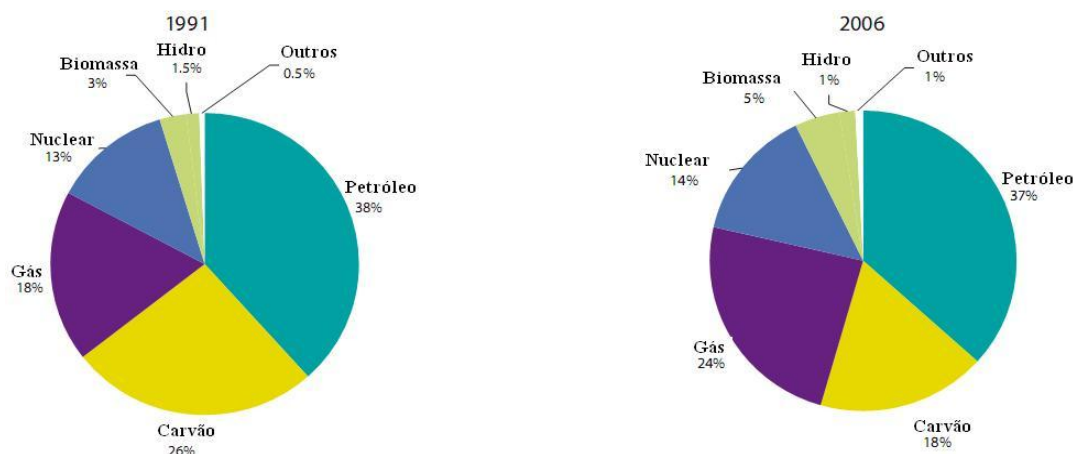
De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), os actuais sistemas de procura e consumo de energia à escala global encontram-se insustentáveis do ponto de vista ambiental, económico e social (IEA, 2008). Se os governos por todo o mundo não alterarem as suas políticas as necessidades mundiais de energia serão cerca de 55 % mais elevadas no ano de 2030, relativamente ao ano de 2005 (IEA, 2008). A procura de energia primária crescerá a uma taxa de 1,6 % ao ano em média no período de 2006 a 2030, de 11730 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) para 17010 Mtep, correspondendo a um aumento de 45 % (IEA, 2008).

O actual sistema energético presente na União Europeia (UE) encontra-se demasiado dependente de combustíveis fósseis. De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (EEA), apesar dos esforços realizados para diminuir esta dependência, registou-se uma descida muito ligeira da energia total consumida daqueles combustíveis de 83 % para apenas 79 %, no período de 1990 a 2005. Da energia primária consumida no ano de 2005, mais de 54 % foi importada.

No que diz respeito ao *mix* energético europeu importa referir que têm ocorrido alterações do mesmo. De salientar que as energias renováveis têm verificado a maior taxa de crescimento anual no que diz respeito ao consumo de energia primária, a uma média de 3,4 % entre 1990 e 2005. Também o consumo de gás natural cresceu a uma taxa anual de 2,8 %, no mesmo período de tempo (EEA, 2008). A taxa de crescimento anual do consumo de petróleo diminuiu, mais concretamente nos últimos anos daquele período de tempo devido à sua substituição parcial pela produção de energia a partir de gás e carvão.

Na União Europeia a 27 Estados Membros (UE-27), cerca de 79 % da toda a energia primária consumida no ano de 2005 provinha de gás, petróleo e carvão, nas proporções de 24,6 %, 36,7 % e 17,7 %, respectivamente. O total de volume importado destes combustíveis, como energia primária total consumida, aumentou de 50,8 % em 2000 para 54,2 % em 2005 (EEA, 2008).

A Figura 2.1 representa o *mix* energético, na UE-27, nos anos de 1991 e 2006.

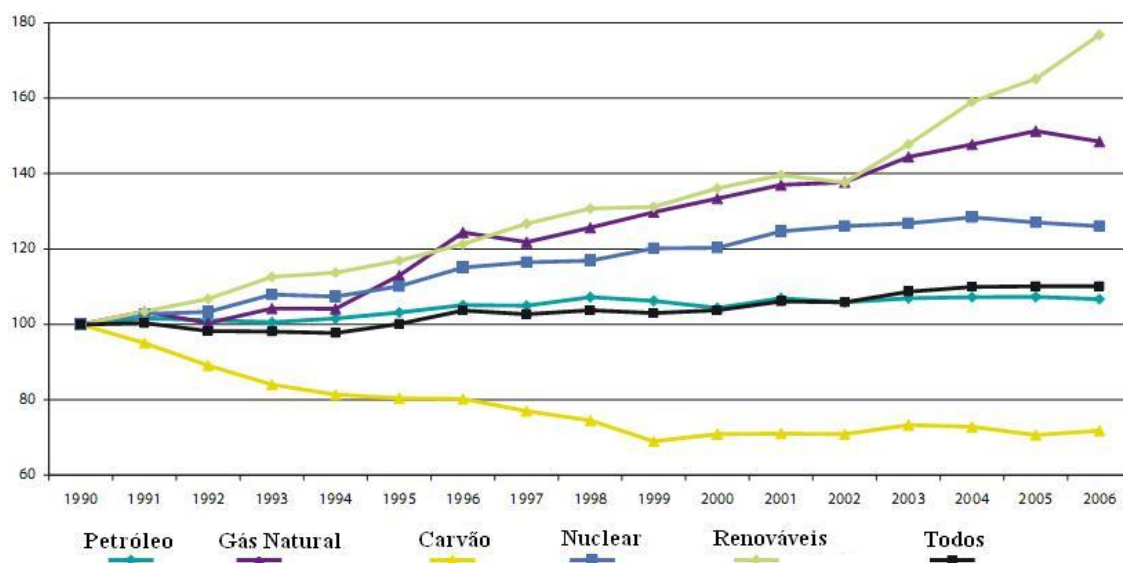


**Figura 2.1 – Comparação do consumo de energia primária na UE-27 nos anos de 1991 e 2006**  
(adaptado de Eurostat, 2009)

Segundo a Eurostat, as principais tendências na estrutura da energia primária a nível europeu, desde o ano de 1990, residiram no aumento da produção de energia a partir de energias renováveis, na diminuição do uso de carvão e no aumento da procura de gás natural. Enquanto que a procura de gás, no conjunto dos três combustíveis fósseis, aumentou de 21 % em 1990 para 31 % em 2006, verificou-se uma descida do fornecimento de carvão de 33 % para 23 %, durante o mesmo período de tempo.

Na Figura 2.2 encontram-se representadas as evoluções da procura de energia primária dos diversos combustíveis, no período de 1990 a 2006, na UE-27.

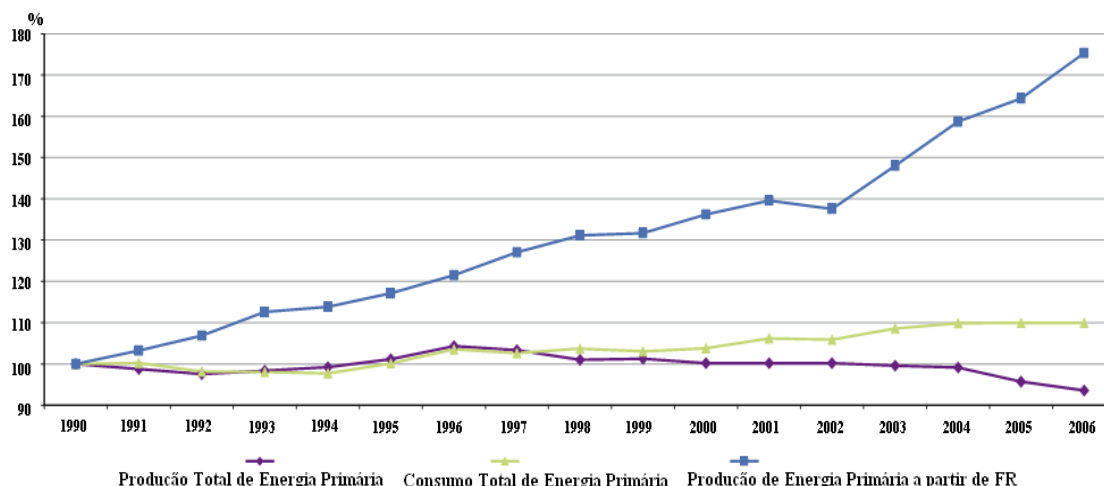




**Figura 2.2 – Evolução do consumo de energia primária na UE-27 entre 1990 e 2006**  
(adaptado de Eurostat, 2009)

O aumento da quota de mercado da produção de energia a partir de energias renováveis, durante os últimos cinco anos, relaciona-se com a implementação da Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro de 2001, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade. Esta directiva estabeleceu, como metas indicativas globais para a produção de energia nos diversos Estados Membros, em 2010, 12 % do consumo nacional bruto de energia e 22,1 % da electricidade produzida, a partir de fontes renováveis.

A evolução crescente da produção primária de energia a partir de fontes renováveis está representada na figura seguinte.



**Figura 2.3 – Evolução da produção de energia primária, consumo de energia e produção de energia a partir de fontes renováveis, na UE-27 entre 1991 e 2006.**

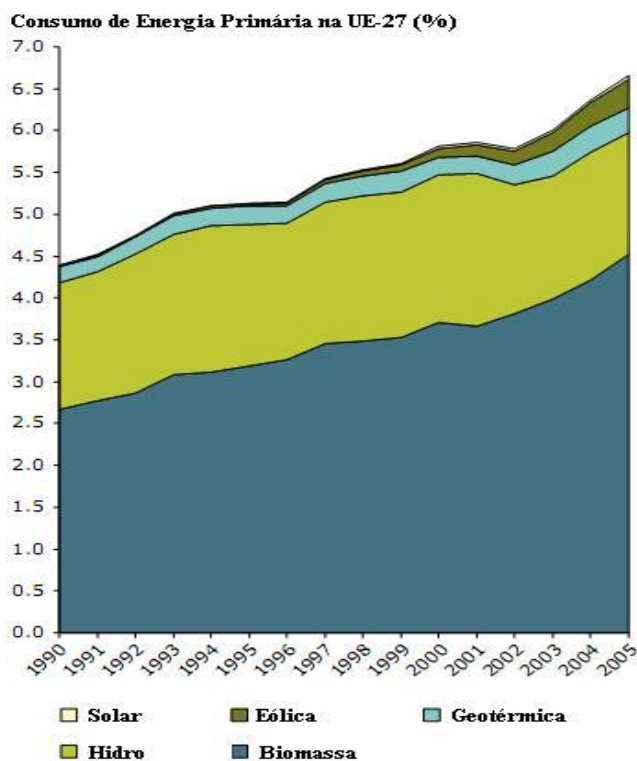
(adaptado de Eurostat, 2009)

De notar que essa evolução acentuou-se a partir de 2002, tendo aumentado cerca de 75 % em 2006 comparativamente com a produção registada no ano de 1990. Verificou-se uma estabilidade relativa da produção total de energia primária até ao ano de 2002, a partir do qual aquela produção diminuiu até 2006, onde a mesma já apresentava uma redução de 6,5 % relativamente a 1990.

A quantidade de energia necessária para satisfazer as necessidades energéticas da UE-27 no decorrer do período considerado manteve-se semelhante à total da produção de energia primária até ao ano de 1997. A partir dessa data registou-se uma ligeira subida das necessidades energéticas, resultando no aumento de 10 % daquele valor relativamente ao ano de 1990. Por conseguinte, o afastamento das curvas desses indicadores é explicado pelo aumento da dependência energética da UE, o que resulta no crescimento das importações de energia (Eurostat, 2009).

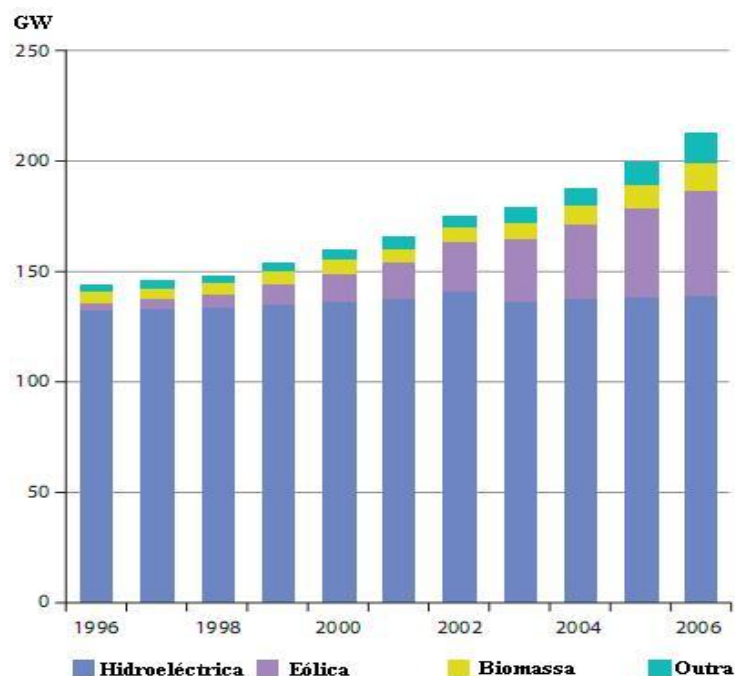
A contribuição de fontes renováveis no consumo de energia primária na UE-27 aumentou ligeiramente de 4,4 % em 1990 para 6,7 % no ano de 2005. Apesar dos progressos registados, será necessário um crescimento significativo a fim de se atingirem as metas propostas de 12 % de contribuição de energias renováveis para o consumo de energia primária (EEA, 2008).

De seguida, apresenta-se, na Figura 2.4, a evolução das fontes renováveis e a sua contribuição no consumo de energia primária, na UE-27.



**Figura 2.4 – Contribuição das fontes renováveis de energia para o consumo de energia primária no período de 1990 a 2005, na UE-27**  
(adaptado de EEA, 2008)

De entre as renováveis, a energia eólica tem aumentado a sua quota de mercado a taxas bastante elevadas nos últimos anos. No entanto, a energia a partir da biomassa e a hidroelétrica continuam a dominar o *mix* energético, representando, no seu total, aproximadamente 90 % de toda a energia produzida a partir de fontes renováveis em 2006 (Eurostat, 2009). Encontra-se representada na figura seguinte a evolução das principais fontes renováveis na produção de energia elétrica.

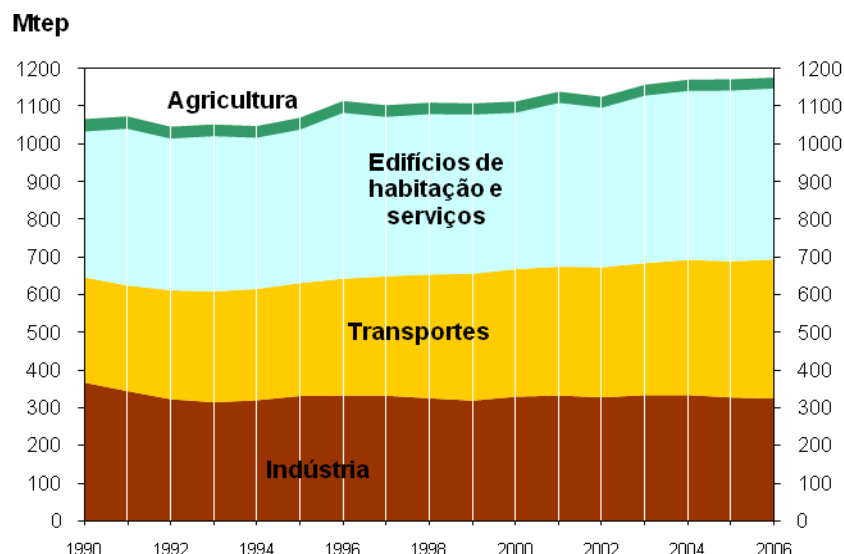


**Figura 2.5 – Produção de electricidade a partir de fontes renováveis, na UE-27 entre 1996 e 2006**  
(adaptado de Eurostat, 2008)

A capacidade instalada destinada à produção de electricidade subiu 48 %, entre 1996 e 2006. É de salientar o aumento significativo da energia eólica, que no ano de 2006 apresentava cerca de 16 vezes mais capacidade em relação à registada em 1996. Também a produção de energia eléctrica a partir da biomassa triplicou, durante o mesmo período. Outras fontes de energia sofreram aumentos no que diz respeito à produção de electricidade, onde se destacam a energia fotovoltaica e a geotérmica. Esta teve a sua produção maioritariamente em Itália, onde se produziu cerca 96,4 % de electricidade a partir daquela fonte, tendo os restantes 3,6 % sido produzidos em Portugal, enquanto que no caso da fotovoltaica cerca de 88 % da capacidade instalada na UE-27 se situa na Alemanha (Eurostat, 2008).

Relativamente ao consumo de energia final, registou-se um decréscimo em cerca de 0,3 %, entre 2004 e 2005. No entanto, verificou-se um aumento daquele em cerca de 9,3 % de 1990 a 2005 (EEA, 2008). Nesse período, o sector dos transportes foi o que registou o aumento mais rápido, seguido do sector dos edifícios.

A Figura 2.6 ilustra a estrutura do consumo de energia final na UE-27, para o ano de 2006.



**Figura 2.6 – Consumo de energia final, por sector de actividade, na UE-27 em 2006**  
(adaptado de EC, 2009a)

O consumo de energia final foi dominado pelos sectores da indústria, com cerca de 27,5 % do consumo total, pelos transportes, com cerca de 31,4 % da energia final consumida, e edifícios (de habitação e serviços), os quais contaram com cerca de 38,7 % de todo o consumo durante o ano de 2006. O sector agrícola sido responsável pelo restante consumo de energia final (EC, 2009a).

## 2.2 Caracterização energética do sector dos edifícios a nível europeu

Relativamente ao sector dos edifícios, registou-se um consumo de cerca de 40 % da energia final total, na Europa (EC, 2009). No ano de 2005 o sector residencial registou um consumo de 26,6 % de toda a energia final consumida (EEA, 2008), sendo um dos sectores com maior potencial no que diz respeito à evolução da sua eficiência energética. Deste modo, todas as medidas com a capacidade de reduzir o consumo energético no aquecimento e arrefecimento em edifícios representam uma parte significativa daquele potencial.

O consumo energético em edifícios é afectado por um conjunto de factores. De entre os principais, destacam-se as condições climáticas onde se inserem, a eficiência energética e as variações na procura de energia que, por sua vez, são dependentes da volatilidade dos preços das diferentes fontes energéticas, do nível de riqueza e exigência do consumidor, entre outros.

O combustível e a quantidade de energia usados em edifícios residenciais variam de país para país, de acordo com as condições de conforto exigidas, qualidade de vida, recursos naturais e infra-estruturas de distribuição de energia existentes.

Segundo a EEA, verificou-se um aumento do consumo de energia final no sector dos edifícios a uma média de 1,0 % por ano, no período de 1990 a 2005, na UE-27, sendo que o consumo de electricidade subiu a uma taxa anual de 2,1 %.

É de esperar que o consumo de energia no sector dos edifícios aumente cerca de 0,6 % por ano entre 2000 e 2030 na UE-25, devido, principalmente, ao crescente número de habitações e estilos de vida (Balaras *et al*, 2005).

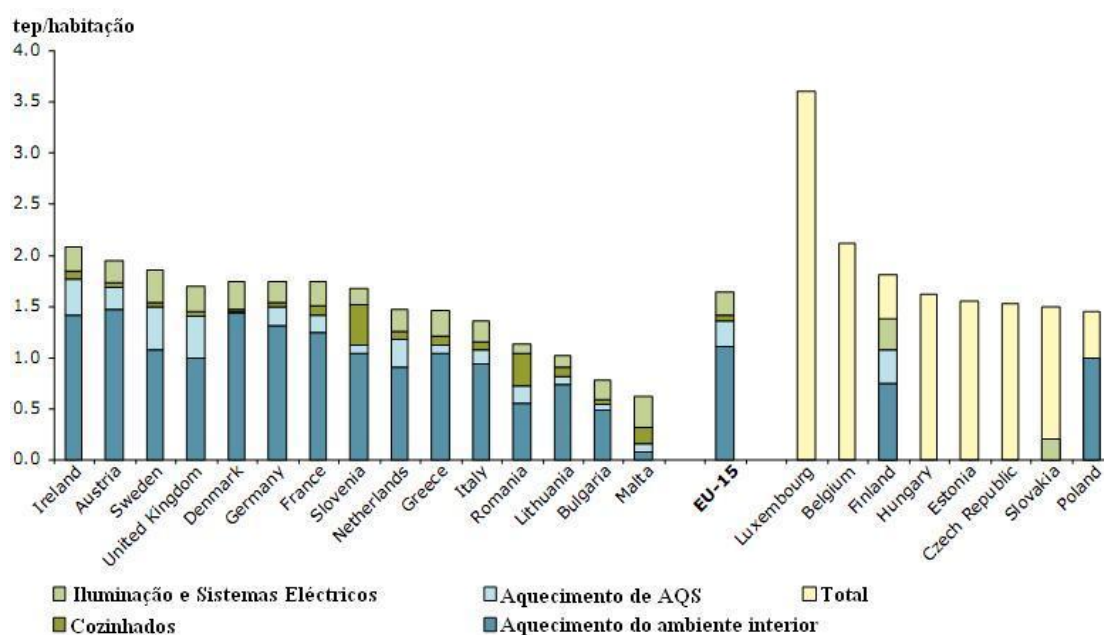
O consumo médio anual de energia em edifícios residenciais situa-se entre os 150 e 230 kWh/m<sup>2</sup>. Para o aquecimento de espaços interiores, a energia consumida varia entre 250 e 400 kWh/m<sup>2</sup> no centro e Este da Europa, em contraste com valores cerca de duas a três vezes inferiores registados na costa oeste daquele continente. Nos países nórdicos, os valores de consumo médio anual compreendidos entre 120 e 150 kWh/m<sup>2</sup> registados em edifícios, reflectem as estratégias de isolamento térmico correctamente implementadas, no contexto específico do clima respectivo (Balaras *et al*, 2005).

No período de 1990 a 2005 registou-se um aumento do consumo de energia *per capita* nos edifícios de cerca de 11,6 %, na UE-27, onde apenas cinco Estados Membros conseguiram baixar aquele consumo. No caso de alguns países, essa diminuição é o resultado da implementação de medidas que incidiram sobre o aumento da eficiência energética naquele sector, ao passo que nos outros países o aumento do consumo de energia *per capita* se deve às flutuações das respectivas economias e ao uso de sistemas de aquecimento nesses territórios.

O aumento do consumo de electricidade tem sido ainda maior, na ordem dos 31,1 % na UE-27, onde apenas a Bulgária verificou um decréscimo daquele parâmetro *per capita*. Países como Portugal, Chipre, Malta e Estónia registaram subidas superiores a 100 % (EEA, 2008).

O consumo médio de electricidade *per capita* no sector dos edifícios residenciais varia de acordo o tipo de uso de energia, alternando entre os 1000 kWh/capita em países como Portugal ou Itália, 2000 kWh/capita no centro da Europa, e atingindo valores acima dos 4500 kWh/capita nos países nórdicos (Balaras *et al*, 2005).

O aquecimento do ambiente interior foi o tipo de utilização final de energia responsável por cerca de 67 % do consumo energético em edifícios, na UE-15, seguido do aquecimento de AQS e da iluminação. A figura seguinte esquematiza o consumo de energia, por habitação e por tipo de actividade, no ano de 2005 na UE-15.



**Figura 2.7 – Consumo de energia por actividade e habitação, na UE-15, em 2005.**

(adaptado de EEA, 2008)

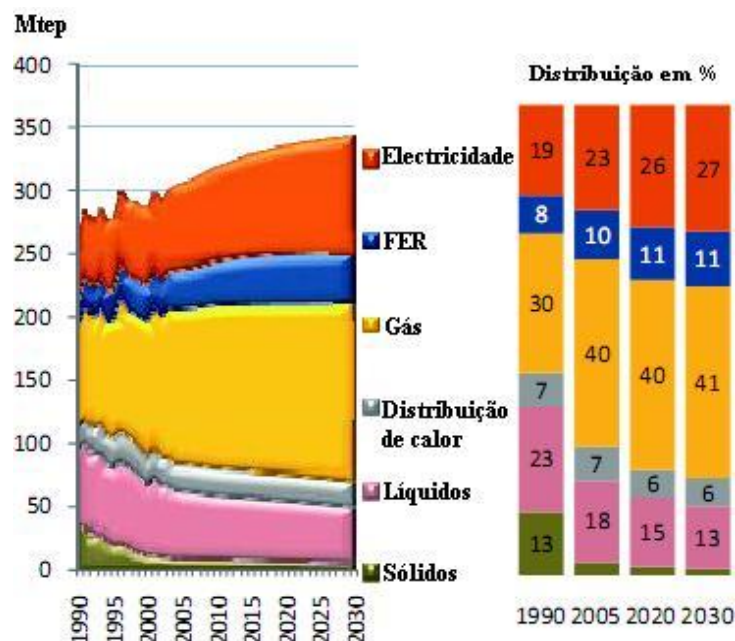
De notar que os valores apresentados no gráfico são o resultado de modelações, as quais não conseguem distinguir, por exemplo, habitações onde o aquecimento do ambiente interior e de AQS seja feito a partir de caldeiras a gás e habitações onde o mesmo se dê a partir de sistemas eléctricos, sendo que, por esse motivo, os mesmos poderão não reflectir algumas particularidades relativas ao consumo.

O consumo energético destinado ao aquecimento de espaços interiores, por unidade de área ( $m^2$ ), decresceu cerca de 12 % na UE-15, durante o período de tempo compreendido entre 1990 e 2005. Em diversos países, o nível de conforto térmico, onde a temperatura do espaço interior e a duração do período de aquecimento têm especial importância, tem aumentado ao longo do tempo, o que resulta num aumento de consumo de energia (EEA, 2008).

A energia consumida para aquecimento de AQS e cozinhas compreende cerca de 22 % de toda a energia consumida no sector dos edifícios residenciais. A electricidade destinada à iluminação corresponde a 5 % do total da energia consumida em edifícios de habitação, onde é estimado que aumente a uma taxa reduzida até ao ano de 2020. A introdução de iluminação eficiente tem sido feita a uma velocidade lenta no sector residencial, contrariamente ao sector dos serviços. Com aquela medida espera-se reduzir em cerca de 25 % o consumo de energia destinada à iluminação no período de 2005 a 2030 (EC, 2007b).

Representa-se, na figura seguinte, a evolução do consumo de energia por tipo de combustível no sector residencial na UE e a previsão para 2020 e 2030.





**Figura 2.8 – Evolução do consumo de energia por combustível no sector residencial, na UE, de 1990 a 2030.**  
(adaptado de EC, 2007b)

O gás natural é a fonte de energia predominante no sector residencial, na UE, sendo responsável por 40 % da energia total consumida em 2005. A sua principal utilidade centra-se nas necessidades de conforto térmico, para além de aquecimento de AQS e confecção de alimentos, e prevê-se que se mantenha na principal fonte de energia até 2030, naquele sector. A segunda maior fonte de energia, durante 2005, foi a electricidade abastecendo 23 % de toda a energia consumida no mesmo sector na UE. Segundo as previsões da Comissão Europeia, a procura desta fonte de energia no sector residencial deverá crescer a uma taxa anual de 1,2 %, no período compreendido entre 2005 e 2030.

As restantes parcelas do *mix* energético no sector residencial são compostas pelos combustíveis fósseis líquidos (que tendem a diminuir ao longo do tempo), fontes de energias renováveis e distribuição de calor (dependente de infra-estruturas existentes, na sua maioria, apenas em cidades do centro e leste Europeu) (EC, 2007b).

### **2.3 Legislação Europeia no Sector dos Edifícios**

A Comissão Europeia elaborou diversas directivas com o propósito de promover o desenvolvimento sustentável nos Estados Membros, nos vários sectores de actividade. No âmbito deste trabalho interessa apenas dar ênfase à legislação relacionada com o sector dos edifícios.

A importância do uso eficiente de energia em edifícios, particularmente no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior no sector residencial, tem sido reconhecida como demasiado importante para não ser objecto de estudo de diversas iniciativas políticas. Da implementação destas políticas resultam inúmeros benefícios sociais e ambientais, onde se destacam a redução da emissão de CO<sub>2</sub> e de outros gases com efeito de estufa e/ou que originam poluição atmosférica, a diminuição do gasto de energia relativa aos edifícios e o aumento dos níveis de conforto nos mesmos.

Neste sentido, a Directiva do Conselho nº 2002/91/EC, de 16 de Dezembro de 2002, visa promover o desempenho energético dos edifícios junto da comunidade, tendo em conta as condições locais e climáticas do ambiente exterior, exigências climáticas de ambientes interiores e os seus custos e efeitos. Esta directiva exige que todos os Estados Membros adoptem regulamentos de certificação os quais informem o público geral sobre o consumo energético em edifícios (IEE, 2008). Assim, para todos os edifícios com uma área superior a 50 m<sup>2</sup> têm de ser emitidos certificados energéticos sempre que sejam construídos, vendidos ou alugados, de modo a fornecer informações ao consumidor e a propor soluções que melhorem a eficiência energética do edifício em questão (EC, 2007a).

Deste modo, esta directiva pretende ajudar os cidadãos não só a melhorarem a eficiência das suas casas como também a indústria da construção a adoptar novos métodos de trabalho que permitam a construção de edifícios apresentando uma qualidade cada vez mais elevada. Os impactes estimados na macroeconomia são significativos, onde se espera usar cerca de 5 a 6 % de energia a menos na UE em 2020, o que iguala o corrente consumo total da Bélgica e Roménia, reduzindo para cerca de 60 a 80 Mtep naquele ano. Para além dessa redução, pretende-se diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> em toda a UE nesse mesmo ano em cerca de 5 % (EC, 2008).

Duas outras iniciativas políticas pretenderam melhorar a eficiência energética no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento no sector residencial nos Estados Membros, são elas o Plano de Acção de Eficiência Energética (EEAP) e a Directiva do Conselho nº 2006/32/EC, de 5 de Abril de 2006, que visa promover o aumento da eficiência do uso de energia final em edifícios.

A primeira teve como objectivo reduzir o consumo de energia primária em 20 %, no período de 2005 a 2020, sendo que este plano assume um potencial de redução do consumo energético para o sector dos edifícios acima dos 25 % (EEA, 2008). São implementadas medidas como o financiamento ao uso de sistemas que apresentem um impacte positivo no consumo de energia, uso de janelas e isolantes térmicos eficientes, e a tentativa de mudança de comportamentos por parte do consumidor, no que se refere ao consumo energético.

Relativamente à Directiva do Conselho nº 2006/32/EC, pretendia-se atingir uma redução de cerca de 9 % do consumo de energia final no intervalo de tempo compreendido entre 2008 e 2016. No ano de 2007, os Estados Membros submeteram-se a determinados planos de acção nos quais estão descritas as medidas a tomar (onde não se inclui o isolamento térmico) de modo a atingir o objectivo proposto. Alguns cálculos feitos demonstraram que essas medidas contribuiriam em cerca de 1/3 do necessário para se atingir o objectivo da redução do consumo de energia primária em 20 %, proposto pelo EEAP. A diferença entre estas duas medidas políticas é explicada tendo por base a diferença básica do consumo de energia final e do consumo de energia primária, para além do período durante o qual ambas se encontram em vigor ser diferente (EEA, 2008).

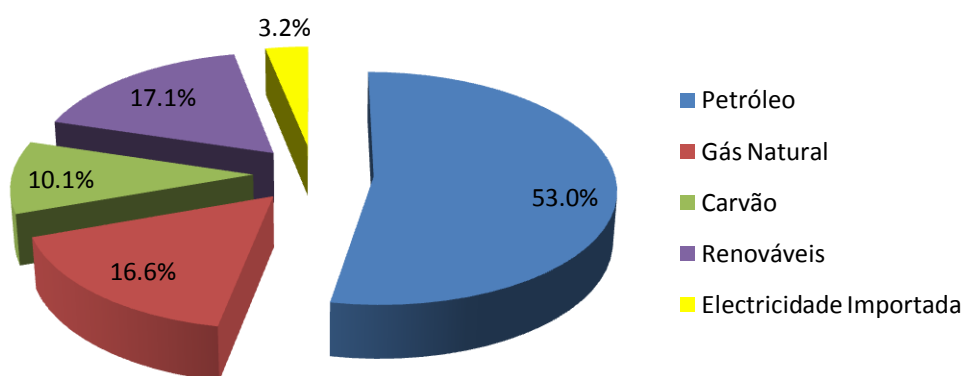
## **2.4 Caracterização energética nacional**

Sendo um país com poucos recursos minerais, Portugal é energeticamente dependente do exterior. Para fazer face à exigência energética do país, a importação de energia, na sua maioria como combustíveis fósseis, atinge valores insustentáveis do ponto de vista económico.

No ano de 2006 a dependência energética de Portugal era de 83,1 %, bastante acima dos 53,8 % da média da UE-27 (Eurostat, 2008). Nesse mesmo ano, a importação de combustíveis fósseis, nomeadamente petróleo, carvão e gás natural, foi cerca de 83 % (Eurostat, 2009).

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o consumo global de combustíveis fósseis no mês de Fevereiro de 2009 diminuiu 4 % comparando com o período homólogo do ano anterior. No entanto, esta tendência de redução no consumo global daqueles combustíveis não é igual para todos. O consumo de carvão e dos produtos derivados do petróleo registou um decréscimo de 18,8 % (em tep) e de 2,7 %, respectivamente. Por outro lado, verificou-se um aumento do consumo de gás natural de cerca 28 %, para o período atrás referido (DGEG, 2009b).

No que diz respeito ao consumo de energia primária em Portugal, tem-se que o petróleo representa mais de metade do total consumido, seguido do gás natural, carvão e das energias renováveis. A Figura 2.9 representa a estrutura de abastecimento de energia primária em Portugal, no ano de 2008, durante o qual foram consumidas cerca de 25075 toneladas equivalentes de petróleo (DGEG, 2009a).



**Figura 2.9 – Consumo de energia primária em Portugal, em 2008.**

(Fonte: DGEG, 2009a)

É de salientar que o consumo de carvão tem vindo a diminuir, maioritariamente na produção de energia eléctrica, mas também na indústria, devido em grande parte ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>. De modo a diversificar a estrutura da oferta de energia e a diminuir a dependência exterior em relação ao petróleo, que tem sofrido oscilações por vezes abruptas nos mercados internacionais, o gás natural tem contribuído de forma ascendente no consumo de energia primária (DGEG, 2009).

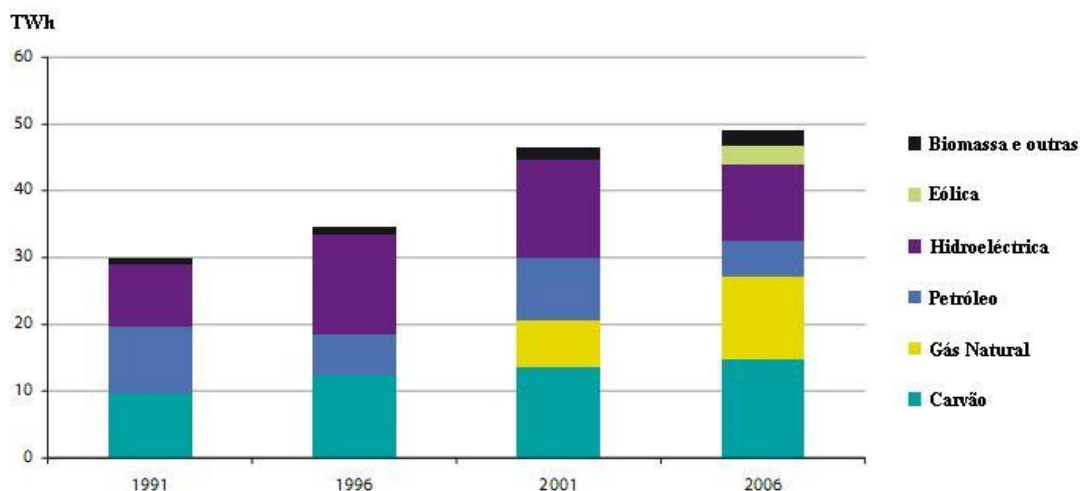
Relativamente à produção de energia a nível nacional é de salientar que a maior parte é obtida na forma de energia eléctrica, a partir de diferentes fontes. De toda a contribuição das fontes de energias renováveis (FER) destaca-se a energia hídrica (com uma potência superior a 10 MW e cerca de 59 % da potência instalada em 2008), a eólica e a energia produzida a partir da biomassa. Encontra-se representada na figura seguinte a evolução da energia produzida (em TWh) em Portugal a partir de fontes renováveis.



\* Ano móvel de Abril de 2008 a Março de 2009.

**Figura 2.10 – Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (TWh).**  
(DGEG, 2009c)

Importa referir que cerca de dois terços de toda a energia eléctrica produzida teve origem em combustíveis fósseis, ao passo que o outro terço foi produzido a partir das fontes renováveis atrás mencionadas (Eurostat, 2009). A figura seguinte traduz a evolução das fontes de produção de energia eléctrica em Portugal, desde 1991 a 2006.



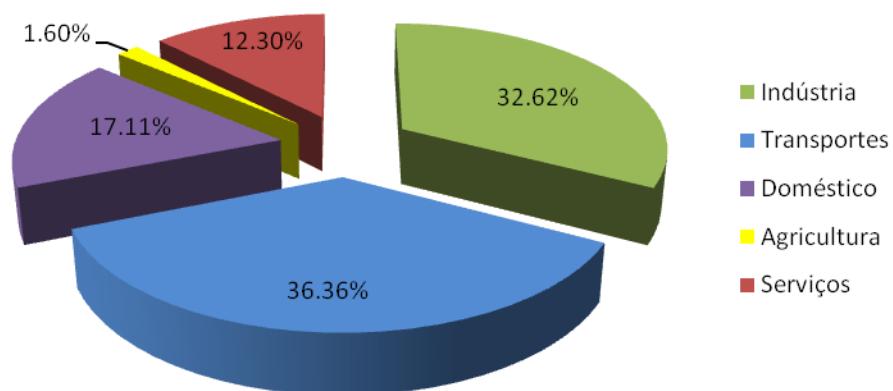
**Figura 2.11 – Produção de energia eléctrica por tipo de combustível, em Portugal de 1991 a 2006.**  
(adaptado de Eurostat, 2009)

No final de Março de 2009, Portugal tinha 8502 MW de capacidade instalada para produção de energia eléctrica a partir de FER, tendo aquela produção registado um acréscimo de 64 %, durante o 1º trimestre de 2009, relativamente a igual período do ano anterior (DGEG, 2009c). Este fenómeno deveu-se ao facto de terem entrado em funcionamento quatro novas centrais eólicas e uma fotovoltaica, para além do reforço de potência em doze das centrais eólicas já existentes.

Segundo a DGEG, para efeitos da Directiva 2001/77/CE, a incorporação de FER no consumo bruto de energia eléctrica foi de 43 % no ano de 2008. De notar que a produção de energia eléctrica a partir de FER está concentrada, maioritariamente, na zona Norte do país. O objectivo estipulado por Portugal para 2020 é atingir 31 % da energia final consumida produzida a partir de FER. No que diz respeito à energia eólica, pretende-se triplicar a capacidade corrente, para 5100 MW em 2012 (Eurostat, 2009).

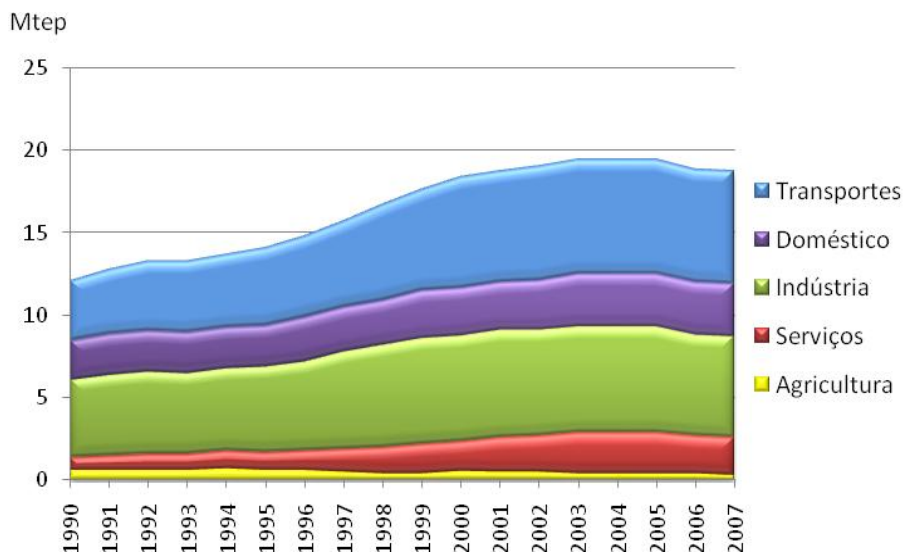
De acordo com a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), durante o ano de 2007 o consumo de energia final ocorreu, maioritariamente, nos sectores dos transportes e indústria, representando cerca de 69 % de total consumido.

As figuras 2.12 e 2.13 representam o consumo de energia final por sector de actividade durante o ano de 2007, e a evolução desse mesmo consumo desde 1990, respectivamente.



**Figura 2.12 – Consumo de energia final por sector de actividade em Portugal, em 2007.**

(Fonte: ERSE, 2009)



**Figura 2.13 – Evolução do consumo de energia final por sector de actividade em Portugal de 1990 a 2007.**

(Fonte: ERSE, 2009)

A procura de energia tem aumentado relativamente mais depressa do que a taxa de crescimento económico, sendo que a intensidade energética da economia é cerca de 4 % mais alta do que a registada em 1991, e 10 % superior à media registada na UE (Eurostat, 2009).

## **2.5 Caracterização energética do sector dos edifícios em Portugal**

Tendo como período de referência o ano de 2007, assistiu-se em Portugal ao consumo de 18695 Mtep nos diversos sectores de actividade, dos quais cerca de 3196 Mtep foram consumidos no sector doméstico (INE, 2009).

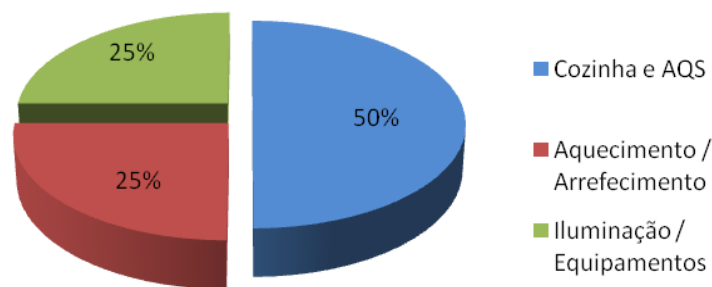
À semelhança do resto da Europa, em Portugal o sector residencial tem vindo a contribuir para um maior consumo de energia, resultado do aumento de algumas necessidades como conforto térmico, higiene e uso de equipamentos eléctricos.

Este sector, já em 2005, contribuiu com 17 % dos consumos de energia primária em Portugal, a partir dos cerca de 3,3 milhões de edifícios existentes. (Enerbuilding, 2008).

No que diz respeito ao consumo de energia final do sector doméstico, importa dizer que o mesmo tem vindo a aumentar nos últimos anos. Em termos percentuais, aquele sector era responsável por 16,2 % do consumo de energia final em Portugal no ano de 2004, tendo atingido cerca de 17,1 % em 2007 (INE, 2009).

A figura 2.14 representa a distribuição dos consumos de energia nos edifícios residenciais, no que diz respeito à utilização final, em 2005.





**Figura 2.14 – Consumo de energia por tipo de utilização final, em Portugal, em 2005.**

(Fonte: Enerbuilding, 2008)

Em termos de tipos de fonte de energia consumida naquele sector, a electricidade foi a dominante com 1192 Mtep consumidas, correspondendo a cerca de 37,3 % do total de energia final consumida, seguida do petróleo e do gás natural, com cerca de 626 e 221 Mtep consumidas, respectivamente. Outras fontes, onde se incluem as renováveis, foram responsáveis por 1161 Mtep do consumo total verificado no referido sector (INE, 2009).

## **2.6 Legislação Nacional no Sector dos Edifícios**

Como referido anteriormente, a Directiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, impôs aos Estados-Membros da União Europeia a emissão de Certificados Energéticos para edifícios novos e existentes de modo a informar o cidadão sobre a qualidade térmica daqueles, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos.

A nível nacional, foi publicado em Diário da República, a 4 de Abril de 2006, um pacote legislativo que transpõe parcialmente aquela directiva para a ordem jurídica nacional. Desse pacote resultou a publicação dos Decreto-Lei n.º 78, 79 e 80, apresentados de seguida.

A publicação do Decreto-Lei n.º 78/2006 definiu o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). O SCE tem como finalidade assegurar a aplicação regulamentar de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE); certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; e identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior (DL 78/2006).

O Decreto-Lei n.º 79/2006 aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios, que, por sua vez, estabelece os seguintes pontos:

- a) As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar interior, que devem ser assegurados em condições de eficiência energética através da selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;
- b) Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo (presente) Regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- c) As condições de manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos necessários para assumir a responsabilidade pela sua condução;
- d) As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;

- e) Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, quer em termos da eficiência energética, quer da qualidade do ar interior (QAI).

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

- a) As exigências de conforto térmico, quer de aquecimento quer de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar interior dos edifícios, assim como as necessidades de água quente sanitária, possam ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- b) Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacte negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

Assim, a partir desta regulamentação pretende-se atingir três objectivos essenciais, são eles informar o consumidor sobre a qualidade térmica da fracção autónoma; criar condições que sugiram a melhoria das qualidades térmica e energética de edifícios; e aumentar a eficiência média deste sector, reduzindo a dependência energética de Portugal.

Após a recolha de informação considerada essencial a um correcto entendimento dos pressupostos inerentes ao processo de cálculo de atribuição da classe de certificação energética, apresentam-se, nos capítulos seguintes, a moradia que foi objecto de estudo neste trabalho, bem como os resultados obtidos e as propostas que parecem adequadas no seguimento da análise destes resultados.

### **3. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO**

Após a análise do conhecimento existente, apresentada no capítulo anterior, são apresentados neste capítulo os pressupostos do caso de estudo deste trabalho.

#### **3. Caso de Estudo**

##### **3.1 – Apresentação**

No presente estudo pretendeu-se avaliar a influência dos métodos de cálculo das necessidades nominais de energia primária na classe energética da fracção autónoma em estudo. O objecto de estudo deste trabalho foi a moradia apresentada de seguida. A opção caiu sobre este tipo de fracção autónoma visto ser o mais exigente do ponto de vista térmico, e por conseguinte a nível energético, relativamente a um apartamento que na generalidade se encontra termicamente mais bem isolado.

A respectiva moradia estudada localizou-se em duas zonas climáticas distintas e caracterizadas mais à frente neste capítulo. As localizações estudadas foram o Concelho de Tarouca, Distrito de Viseu e Concelho de Portimão, Distrito de Faro.

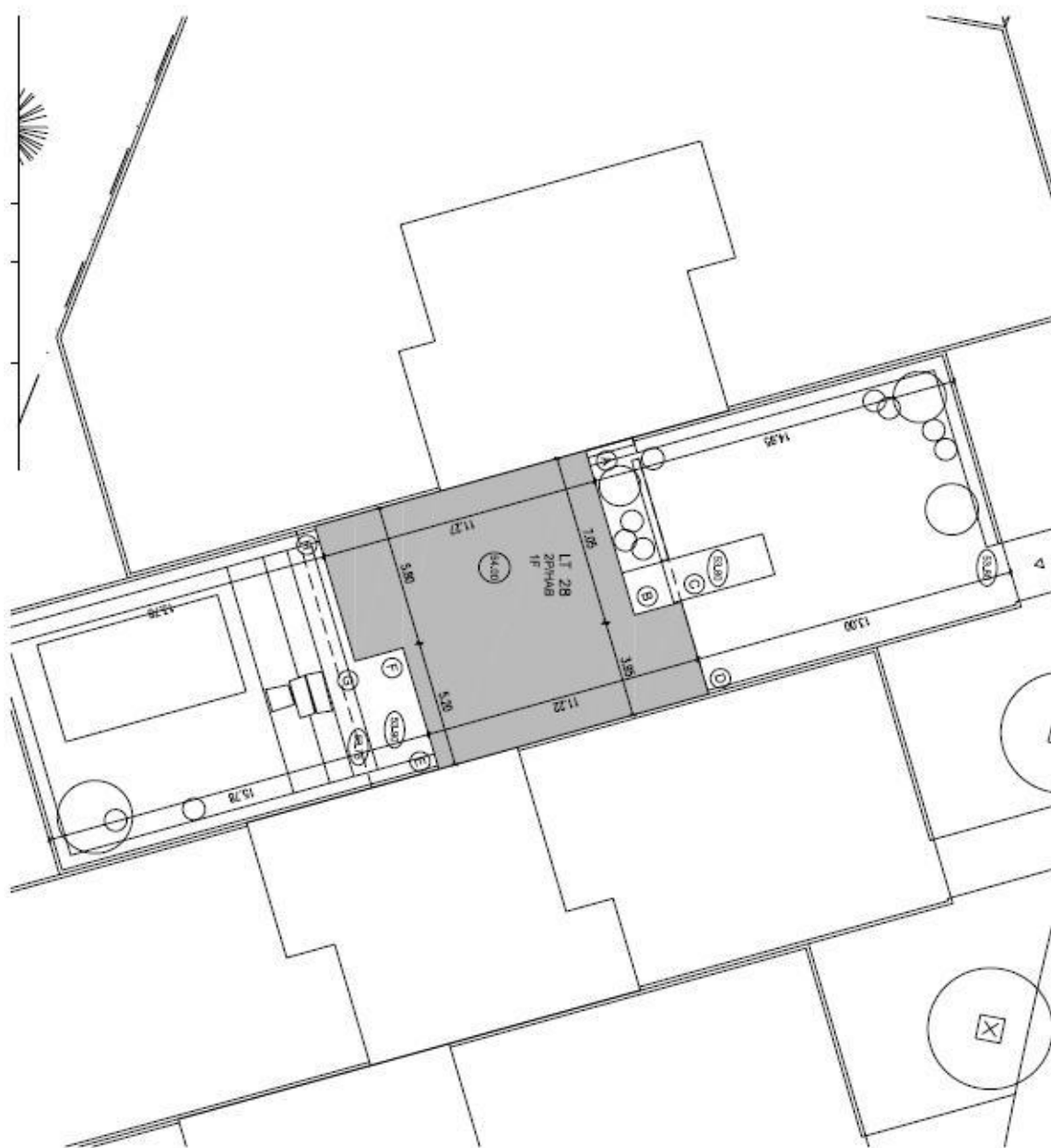
A fracção autónoma encontra-se num bloco de moradias como indicam as figuras 3.1 e 3.2, sendo composta por dois pisos acima do nível do solo.

No primeiro piso, o edifício conta com uma garagem voltada a Norte, uma sala comum com dois envidraçados voltados a Norte e a Sul, e uma cozinha voltada a Sul. No segundo piso, a moradia tem três quartos e uma suite. Esta encontra-se voltada a Sul, assim como um dos quartos, com uma varanda. Os outros dois quartos estão voltados a Norte. A comunicação entre os dois pisos é feita por escadas. Os pisos 1 e 2 têm uma área de 95,98 m<sup>2</sup> e 80,51 m<sup>2</sup>, respectivamente.



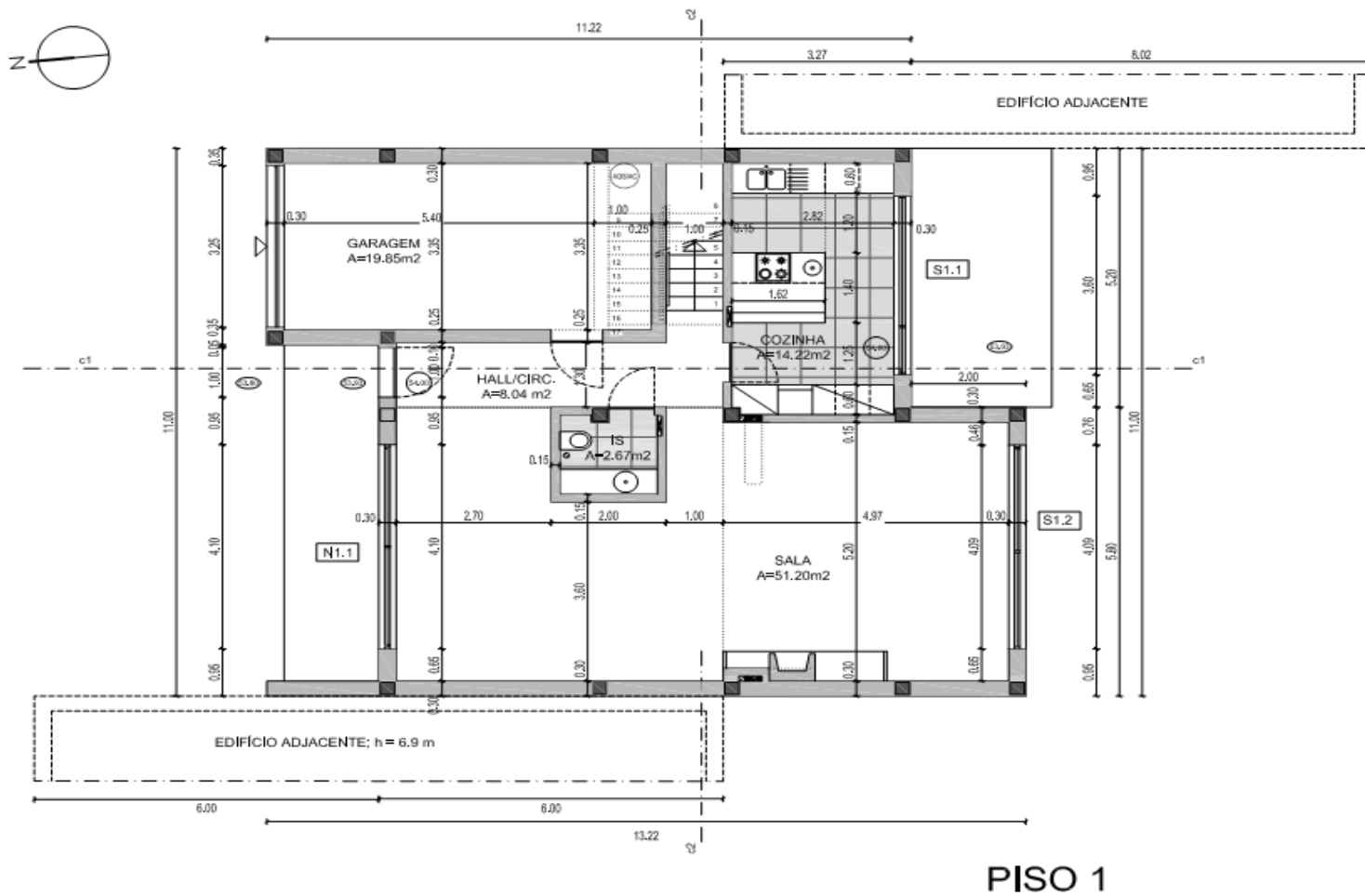
**Figura 3.1 – Bloco de moradias onde se insere a fracção autónoma estudada**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)

A Figura 3.2 representa o local onde se insere a moradia estudada.

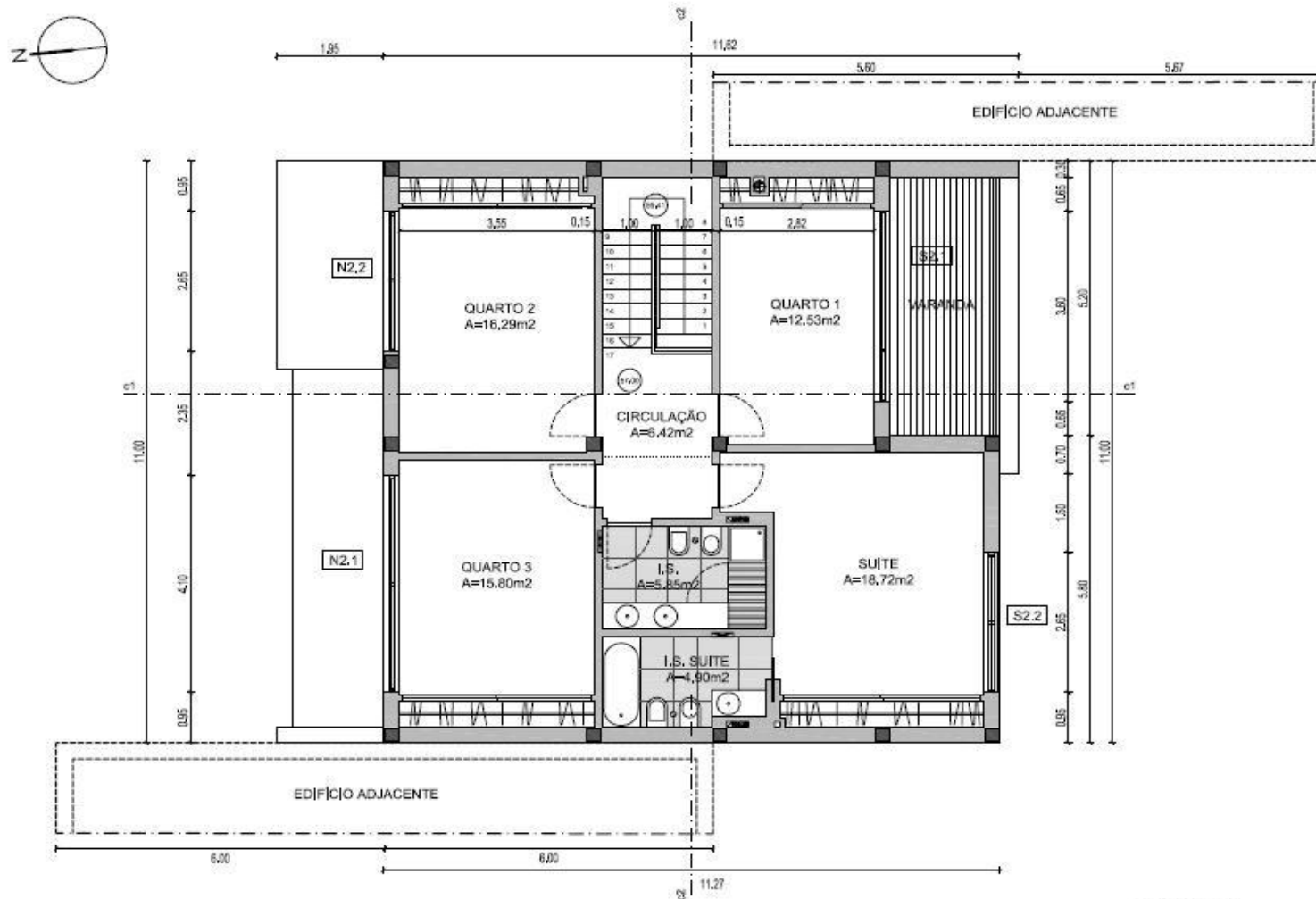


**Figura 3.2 – Pormenor do bloco de moradias onde se insere a fracção autónoma estudada**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)

As figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6 esquematizam a arquitectura da moradia, dos pisos 1 e 2, e dos cortes 1 e 2, respectivamente.



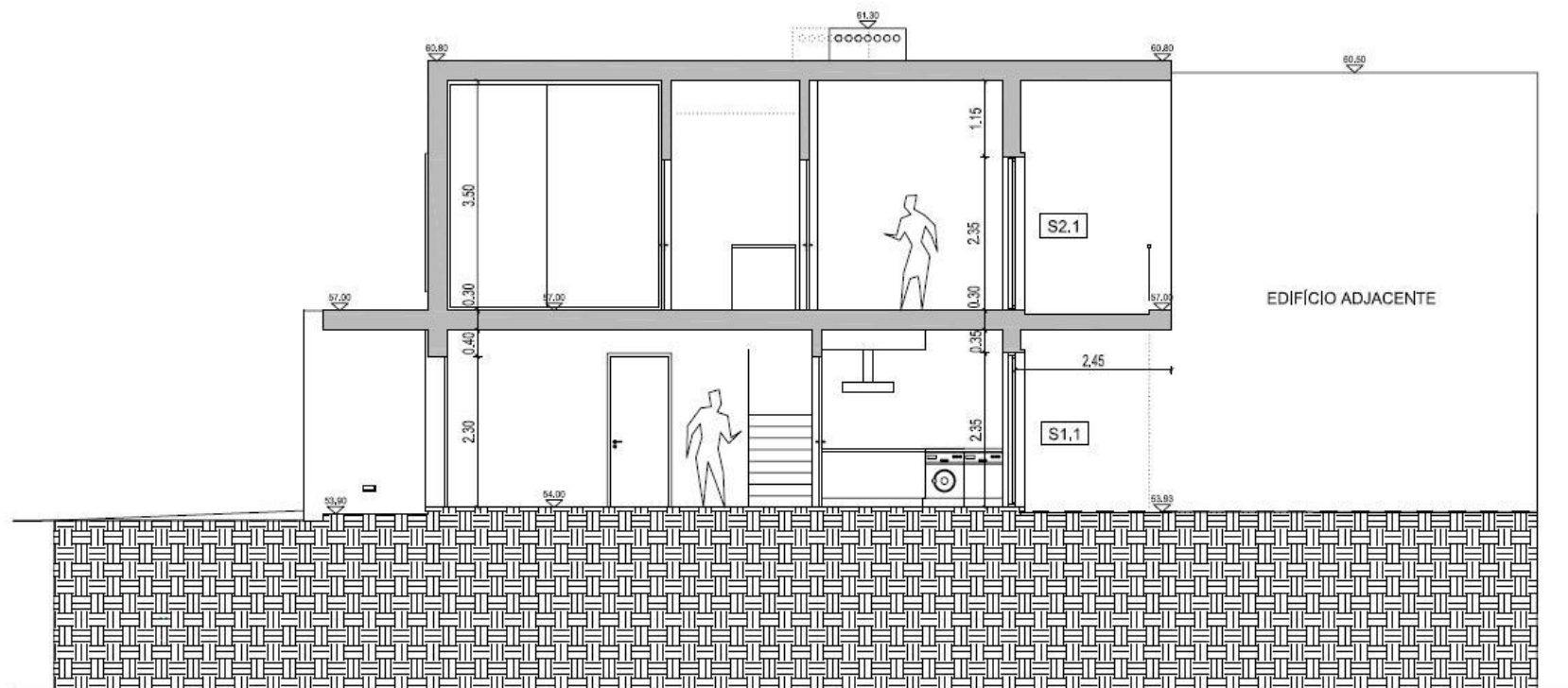
**Figura 3.3 – Planta do Piso 1**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)



PISO 2

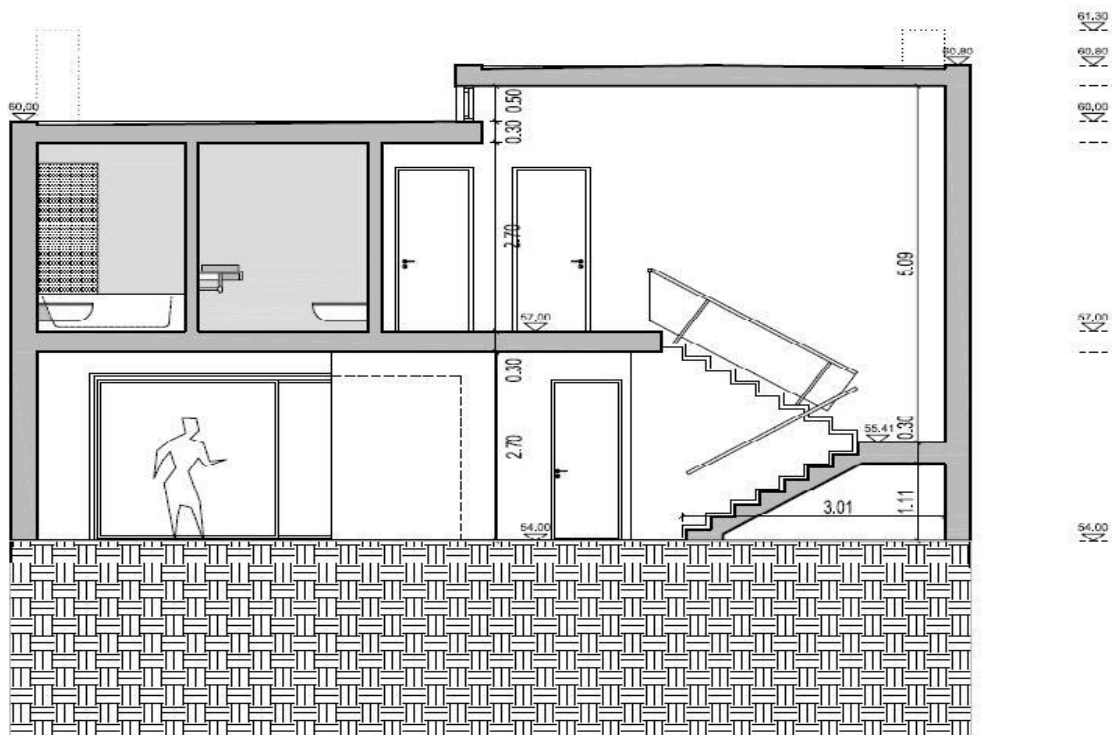
**Figura 3.4 – Planta do Piso 2**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)





## CORTE 1

**Figura 3.5 – Corte 1**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)



## CORTE 2

**Figura 3.6 – Corte 2**  
(disponibilizado pelo Professor Doutor Miguel Amado)

### **3.2 – Zonamento Climático**

O RCCTE divide o país em três zonas climáticas de Inverno e três zonas climáticas de Verão. Para testar a influência do zonamento climático no cálculo das necessidades nominais globais de energia primária, procurou-se realizar a simulação do mesmo tendo em conta dois tipos de zona climática distintos e extremos.

Deste modo, foram simulados os cálculos daquelas necessidades energéticas da moradia apresentada, considerando a sua localização tanto no Concelho de Tarouca, Distrito de Viseu, como no Concelho de Portimão, Distrito de Faro. Aos concelhos referidos correspondem, de acordo com o Quadro III.1 do RCCTE, as zonas climáticas  $I_3V_3N$  e  $I_1V_1S$ , respectivamente.

Os dados respeitantes a ambas as zonas climáticas estudadas encontram-se descritos em 3.3.2..

### **3.3 – Metodologia**

São apresentados, de seguida, os passos fundamentais da metodologia de trabalho deste estudo.

Como dito anteriormente, com o presente trabalho pretendeu-se analisar o método de cálculo das necessidades nominais de energia primária da fracção autónoma já apresentada e suas implicações nas classes de desempenho energético da respectiva fracção autónoma.

#### **3.3.1 – Método de Cálculo**

Para tal, com recurso a uma folha de cálculo formatada de acordo com os requisitos do RCCTE, e devidamente adaptada aos objectivos deste trabalho, foram analisados diversos parâmetros condicionantes do processo de cálculo das necessidades nominais globais de energia primária da moradia em causa.

A metodologia de cálculo das necessidades nominais de aquecimento, necessidades nominais de arrefecimento e necessidades de energia para preparação de AQS utilizada foi a descrita no capítulo anterior. Foram, então, utilizadas as folhas de cálculo das respectivas necessidades energéticas presentes nos Anexos IV, V e VI do RCCTE.

De acordo com as várias simulações realizadas, representadas nos Quadros 3.2 e 3.3, pretendeu-se avaliar e comparar as diferentes necessidades e consumos de energia primária da moradia estudada, já que o desempenho energético da mesma fracção autónoma está directamente dependente do cálculo das suas necessidades globais de energia.

### **3.3.2 – Descrição dos parâmetros testados**

Testaram-se os seguintes parâmetros nas diversas simulações de cálculo das necessidades globais de energia primária:

- *Valores de Ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$*

A expressão relativa ao cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ), do Artigo 15.º do Capítulo V do RCCTE, presente na folha de cálculo das necessidades globais de energia primária, foi utilizada tal como a original e, com as alterações do valor de 0,1 respeitante ao valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ , para 0,5 e 1,0 em diversas simulações realizadas. Com essas alterações pretendeu-se simular o facto de se considerarem 50 % e 100 % das condições interiores de referência estabelecidas no Artigo 14.º do Capítulo V do RCCTE, isto é, uma temperatura do ar de 20 °C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25 °C e 50 % de humidade relativa para a estação de arrefecimento, durante todo o ano civil. É de referir que, para efeitos comparativos do cálculo das necessidades globais de energia primária, o facto de se utilizar 0,1 como valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  desvaloriza, gravemente, a influência da qualidade de envolvente naquele processo de cálculo, pois só se considera a existência de climatização nos edifícios de habitação em Portugal durante apenas 10 % do tempo.

- *Orientação geográfica*

Foi testada a orientação geográfica inicial Norte-Sul e, posteriormente, a orientação Este-Oeste. Nesta, foram alterados os valores do factor de orientação para 0,56, presentes no Quadro IV.4 do Anexo IV do RCCTE. Foram calculados os valores do factor de obstrução correspondentes à nova orientação do vão envidraçado, tendo em conta o novo valor do factor de sombreamento ( $F_h$ ), equivalente a 0,84. Ambas as alterações realizaram-se na folha de cálculo correspondente aos ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno) (folha de cálculo FC IV. 1e).

Na folha de cálculo FC V. 1c, respeitante aos ganhos solares pela envolvente opaca, alteraram-se os valores da intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento, presentes no Quadro III.9 do regulamento, correspondentes à orientação Norte-Sul. Adoptaram-se os valores daquele parâmetro que são apresentados no ponto referente ao zonamento climático deste capítulo.

As alterações realizadas na folha de cálculo FC V. 1d centraram-se no cálculo dos novos valores do factor de obstrução, seguindo a metodologia utilizada na folha de cálculo FC IV. 1e. Para além dessas alterações também se actualizaram os valores da intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento, presentes no Quadro III.9 do regulamento, correspondentes à orientação Norte-Sul, e factor de selectividade do vidro ( $F_w$ ). Estes, presentes no Quadro V.3, tomaram o valor de 0,85, correspondentes à situação de Verão, para vidros duplos e para as orientações Este e Oeste.

- *Qualidade da envolvente*

Nas diferentes simulações foram utilizados dois tipos de valores para o coeficiente de transmissão térmica. Deste modo, consideraram-se os valores de referência do Anexo IX do RCCTE, bem como um outro conjunto de valores que representam um nível de qualidade acrescido. O principal objectivo desta variação, foi o de considerar diferentes níveis de qualidade da envolvente nos resultados do cálculo das necessidades de energia primária e, deste modo, compreender de que forma condicionam a atribuição da classe energética.

- *Sistemas de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS*

O cálculo da energia para preparação de AQS teve como pressuposto o uso de um esquentador, que, segundo o Anexo VI do RCCTE, apresenta uma eficiência de conversão de 0,50. Para o arrefecimento do ambiente interior da fracção autónoma assumiu-se o uso de uma máquina frigorífica, apresentando uma eficiência nominal de 3, como referido no Artigo 18.º do mesmo regulamento. Já para o aquecimento do ambiente interior da moradia foram utilizados dois tipos de sistemas, são eles a resistência eléctrica e a caldeira a gás, com eficiências nominais de 1 e 0,87, respectivamente.

- *Zonamento climático*

Como referido anteriormente, foram considerados dois tipos de zonas climáticas para as simulações do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma estudada.

Para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento e das necessidades nominais de arrefecimento adoptaram-se os seguintes dados de referência da zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S referida:

- ✓ Número de graus dias (*GD*): 940 °C.dias;
- ✓ Duração da estação de aquecimento: 5,3 meses;
- ✓ Radiação incidente num envidraçado a Sul (*G<sub>sul</sub>*): 108 kWh/m<sup>2</sup>.mês;
- ✓ Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento: 21 °C;
- ✓ Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento:
  - Orientação Norte: 200 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Sul: 380 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Este: 420 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Oeste: 430 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Horizontal: 760 kWh/m<sup>2</sup>.

Para fins comparativos, foi simulada a localização da mesma moradia no Concelho de Tarouca, Distrito de Viseu, com características de zonamento climático I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N. Assim, foram utilizados os seguintes dados climáticos de referência:

- ✓ Número de graus dias ( $GD$ ): 2670 °C.dias;
- ✓ Duração da estação de aquecimento: 6,3 meses;
- ✓ Radiação incidente num envidraçado a Sul ( $G_{sul}$ ): 90 kWh/m<sup>2</sup>.mês;
- ✓ Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento: 22 °C;
- ✓ Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento:
  - Orientação Norte: 200 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Sul: 400 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Este: 450 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Orientação Oeste: 450 kWh/m<sup>2</sup>;
  - Horizontal: 800 kWh/m<sup>2</sup>.

- *Valores de Ponderação da expressão relativa ao cálculo de  $Nt$*

A expressão de cálculo das necessidades nominais globais anuais de energia primária ( $Nt$ ), definida no Art. 15<sup>a</sup> do RCCTE, considera, implicitamente, determinados valores para os parâmetros factor de conversão para energia primária, eficiência nominal do equipamento e ponderação para os índices  $Nic$  e  $Nvc$ . Os factores de conversão e a ponderação de  $Nic$  e  $Nvc$  correspondem, naturalmente, aos valores regulamentares, isto é, 0,29 kgep/kWh e 0,086 kgep/kWh (consoante a fonte de energia final) e, para a ponderação, o valor de 0,1. No entanto, o facto de a expressão de cálculo de  $Nt$  ter ainda implícita a eficiência nominal dos equipamentos de climatização para aquecimento e arrefecimento implica que o regulador tenha tomado uma opção em relação ao sistema específico a considerar. Esta informação não consta de qualquer documento regulamentar ou oficial emitido pelas entidades envolvidas nesta temática. Tentou-se pois, por via de um processo de cálculo iterativo, estabelecer quais os equipamentos considerados na definição da expressão de cálculo de  $Nt$ .

Parece provável, no seguimento deste processo, que o regulador tenha considerado uma caldeira a combustível gasoso com eficiência nominal de 0,87 para a estação de aquecimento e uma máquina frigorífica em ciclo de compressão com eficiência nominal de 3 para a estação de arrefecimento. Note-se que este tipo de equipamento com estes valores de eficiência nominal estão expressamente referidos no RCCTE como valores que podem ser assumidos por defeito em caso de falta de melhor informação e, no caso do Verão, a máquina frigorífica é inclusivamente o equipamento a considerar obrigatoriamente no caso de o projecto da fracção autónoma não contemplar a especificação de qualquer equipamento para arrefecimento.

Deste modo, para o Inverno, o valor de 0,01 é o resultado de um cálculo que considere as condicionantes acima referidas:

$$0,01 = (0,1/0,87) \times 0,086 \quad (\text{Equação 3.1})$$

Por outro lado, no caso do Verão, o valor de 0,01 é também o resultado de um cálculo efectuado de acordo com igual princípio:

$$0,01 = (0,1/3) \times 0,29 \quad (\text{Equação 3.2})$$

Considerando estas opções (que se julga poderem de facto corresponder à intenção do regulador), uma outra questão parece agora merecer alguma atenção. Os valores de eficiência nominal e de factor de conversão para energia primária associados a esta escolha, no caso do Inverno, implicam uma penalização, *à priori*, para qualquer opção de aquecimento que tenha como fonte de energia final a electricidade.

Esta constatação conduziu, neste trabalho, a uma análise posterior em que se pretendeu avaliar o impacte de, regulamentarmente, ser prevista para o Inverno a possibilidade de a expressão de cálculo de  $N_t$  considerar a fonte de energia final efectivamente prevista. Neste cenário, o valor de 0,01 incluído naquela expressão seria utilizado para sistemas de aquecimento do tipo da caldeira a gás e um outro valor seria considerado para sistemas de aquecimento eléctricos. Este novo valor, 0,03, resulta da consideração de 0,1 para ponderação de  $N_{ic}$ , do valor de 1 para eficiência



nominal do equipamento (considerando uma resistência eléctrica) e do valor de 0,29 kgep/kWh para factor de conversão para energia primária:

$$0,03 = (0,1/1) \times 0,29 \quad (\text{Equação 3.3})$$

No seguimento do estudo, esta possibilidade foi ainda avaliada considerando os outros dois valores de ponderação de  $N_{ic}$  já referidos (0,5 e 1,0), o que dá origem aos valores apresentados no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1 – Valores de ponderação das expressões relativas ao cálculo de  $N_{tc}$  e  $N_t$**

Ponderação de $N_{ic}$ no cálculo de $N_{tc}$	0,1	0,5	1,0
Ponderação para o cálculo de $N_t$	0,03	0,15	0,29

### 3.3.3 – Descrição dos parâmetros considerados para ao cálculo das necessidades globais de energia primária.

Consideraram-se os seguintes parâmetros nas diversas simulações de cálculo das necessidades globais de energia primária:

- *Coefficientes de transmissão térmica linear ( $\psi$ )*

Na folha de cálculo referente às perdas associadas à envolvente exterior (FC IV. 1a) considerou-se a existência de um pavimento térreo com isolamento com o valor de coeficiente de transmissão térmica linear igual a 1,8 W/m.°C. Para as ligações entre fachada com os pavimentos térreos considerou-se  $\psi = 0,5$  W/m.°C.

- $\tau$  da garagem

Na folha de cálculo referente às perdas associadas à envolvente interior (FC IV. 1b) considerou-se o valor de  $\tau$  igual a 0,5.

- *Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados exteriores*

Considerou-se, na folha de cálculo FC IV. 1c, o valor de coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados exteriores de 2,8 W/m<sup>2</sup>.°C.

- *Ventilação durante a estação de aquecimento*

Durante a estação de aquecimento foi considerada a existência de ventilação mecânica com as seguintes características:

- ✓ Classe de exposição ao vento: Exp. 1
- ✓ Recuperador de calor com eficiência nominal de 0,8 e potência de 100 W
- ✓ Caudal de insuflação:  $V_{ins} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$
- ✓ Caudal extraído:  $V_{ev} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$
- ✓ Infiltrações:  $V_x = 0,3 \text{ h}^{-1}$
- ✓ Consumo de electricidade para os ventiladores para zona climática I<sub>3</sub>:  $E_v = 453,6 \text{ kWh}$
- ✓ Consumo de electricidade para os ventiladores para zona climática I<sub>1</sub>:  $E_v = 381,6 \text{ kWh}$
- ✓ Taxa de Renovação Nominal:  $R_{ph} = 0,12 \text{ h}^{-1}$

- *Ventilação durante a estação de arrefecimento*

Durante a estação de aquecimento foi considerada a existência de ventilação natural com as seguintes características:

- ✓ Classe de exposição ao vento: Exp. 3
- ✓ Perdas associadas à renovação do ar: 122,77 W/°C
- ✓ Taxa de Renovação Nominal:  $R_{ph} = 0,75 \text{ h}^{-1}$

- *Factor solar do vidro*

Considerou-se, na folha de cálculo relativa aos ganhos úteis na estação de aquecimento (FC IV. 1e), 0,75 como valor do factor solar do vidro, desconsiderando o uso de protecções interiores.

As matrizes apresentadas nos Quadros 3.2 e 3.3 representam o conjunto dos parâmetros analisados e a sua combinação. Note-se que aquele último factor de variação de estudo – o tipo de equipamento considerado para o cálculo de  $Nt$  – não está incluído nas matrizes uma vez que será alvo de análise separada, como complemento do objectivo principal deste trabalho.

**Quadro 3.2 – Matriz das soluções simuladas considerando valores de referência de coeficientes de transmissão térmica**

Parâmetros Simulados			Simulações de Cálculo das Necessidades Nominais Globais de Energia Primária																							
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Ponderação <i>Ntc</i>	0,1		X			X			X			X			X			X			X			X		
	0,5			X			X			X			X			X			X			X			X	
	1,0				X			X			X			X			X			X			X			X
Orientação	Norte/Sul		X	X	X				X	X	X				X	X	X				X	X	X			
	Este/Oeste					X	X	X				X	X	X				X	X	X				X	X	X
Sistemas	Aquecimento	Resistência Eléctrica	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X						
		Caldeira a gás							X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X
	Arrefecimento	Máquina Frigorífica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	AQS	Esquentador	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zonamento climático	I <sub>1</sub> V <sub>1</sub> S		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
	I <sub>3</sub> V <sub>3</sub> N														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**Quadro 3.3 – Matriz das soluções simuladas considerando valores de coeficientes de transmissão térmica *N2***

Parâmetros Simulados			Simulações de Cálculo das Necessidades Nominais Globais de Energia Primária																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ponderação <i>Ntc</i>	0,1		X			X			X			X			X			X			X			X		
	0,5			X			X			X			X			X			X			X			X	
	1,0				X			X			X			X			X			X			X			X
Orientação	Norte/Sul		X	X	X				X	X	X				X	X	X				X	X	X			
	Este/Oeste					X	X	X				X	X	X				X	X	X				X	X	X
Sistemas	Aquecimento	Resistência Eléctrica	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X						
		Caldeira a gás							X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X
	Arrefecimento	Máquina Frigorífica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	AQS	Esquentador	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zonamento climático	I <sub>1</sub> V <sub>1</sub> S		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
	I <sub>3</sub> V <sub>3</sub> N														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

É de referir que não foram consideradas alterações da classe de inércia térmica da fracção autónoma, assumida, em todos os cálculos, como classe de inércia térmica forte.

### **3.3.4 – Discussão de resultados**

Após realizadas as simulações dos parâmetros testados, de acordo com o Quadros 3.2 e 3.3, são apresentados e analisados os resultados deste estudo no Capítulo IV do presente trabalho.

No que diz respeito aos resultados finais das simulações feitas, os mesmos são analisados em termos de necessidades nominais globais de energia primária da moradia em estudo, tendo por base a combinação dos parâmetros condicionantes ao cálculo das mesmas, como indicam as matrizes atrás apresentadas.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Apresentam-se, neste capítulo, os resultados obtidos após realizadas as simulações da variação de diferentes parâmetros condicionantes do processo de cálculo das necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma em causa.

Os resultados de seguida apresentados são fruto de diferentes combinações de parâmetros condicionantes daquele processo, são eles o tipo de sistema considerado para aquecimento, a ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  no cálculo de  $N_{tc}$  e  $N_t$ , o coeficiente de transmissão térmica, o zonamento climático, e a orientação geográfica. Refira-se que, posteriormente, e como já referido no capítulo anterior, se apresenta ainda uma breve análise das implicações de se poder considerar, no cálculo de  $N_t$ , um tipo de sistema de aquecimento idêntico ao considerado no cálculo de  $N_{tc}$ .

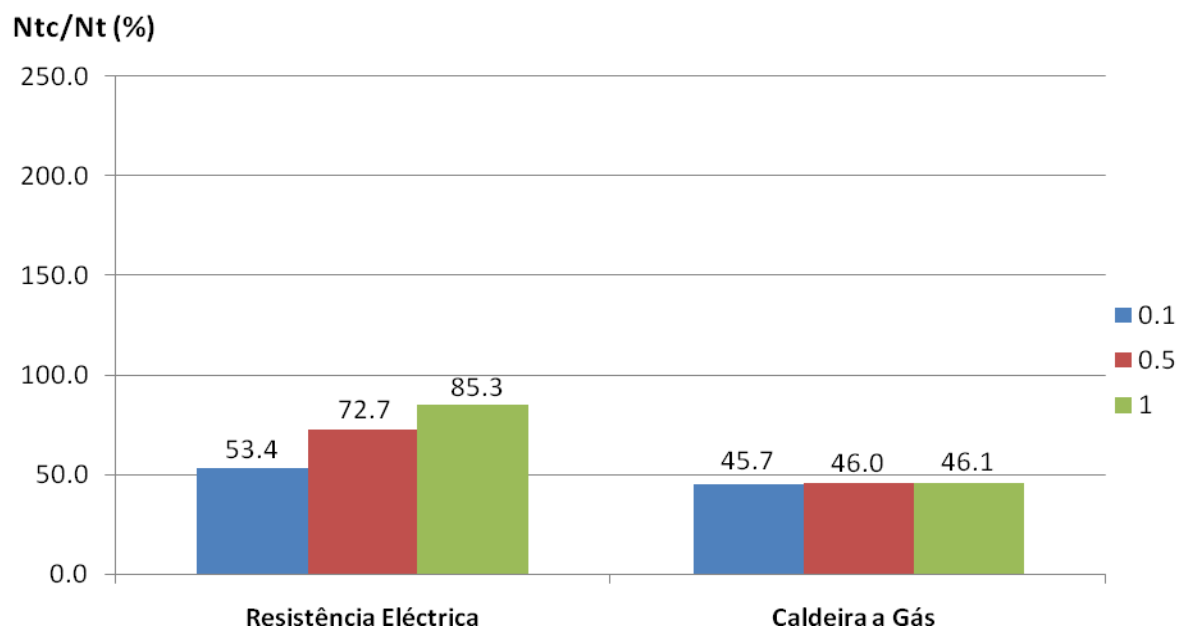
São apresentadas e analisadas, em primeiro lugar, as condições relativas aos valores de coeficiente de transmissão térmica de referência, variando os parâmetros orientação geográfica e zonamento climático. Posteriormente, apresentam-se e analisam-se as diferentes combinações possíveis daqueles parâmetros considerando os valores de coeficiente de transmissão térmica médios, os quais se denominaram  $N_2$ .

Para todos os gráficos apresentados de seguida, consideraram-se como sistemas de aquecimento do espaço interior a resistência eléctrica ou a caldeira a gás, com eficiências nominais de 1,0 e 0,87, respectivamente. Para além dos sistemas de aquecimento, consideraram-se os três valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ) referidos no Capítulo III.

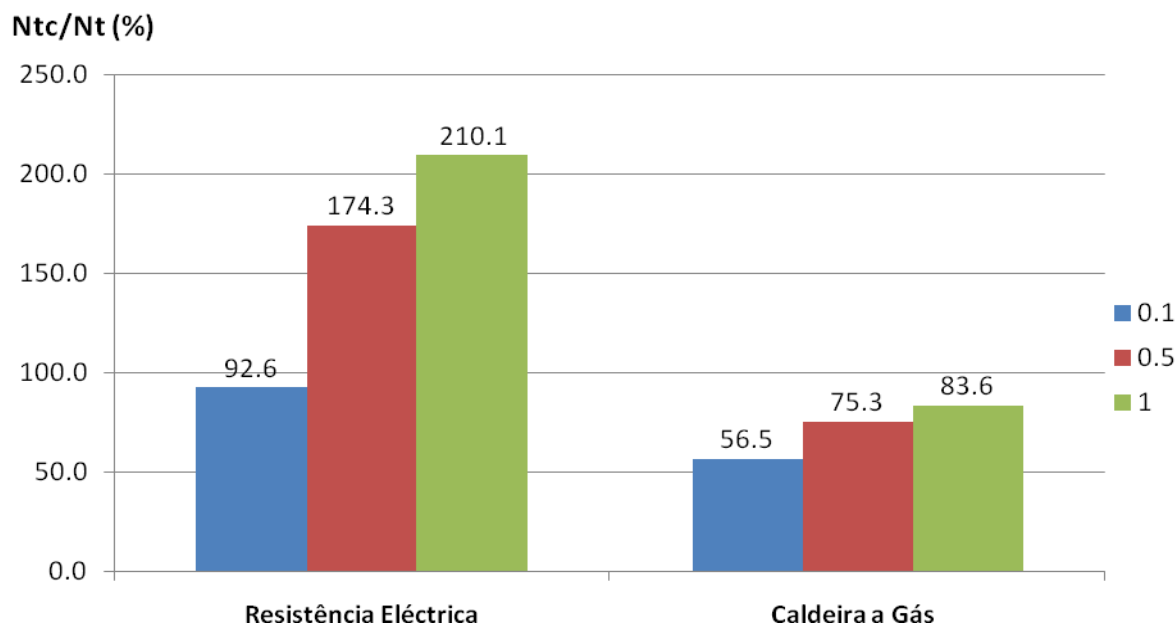
Deste modo, tornou-se possível comparar as diferentes necessidades nominais de energia primária, consoante as diferentes combinações condicionantes atrás indicadas.

#### 4.1 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência

Tendo como base de comparação os valores do coeficiente de transmissão térmica de referência, começaram-se por distinguir, para as situações de zonamento climático  $I_1V_1S$  e  $I_3V_3N$ , as necessidades globais de energia primária (pelo rácio  $N_{tc}/N_t$ ) consoante o tipo de sistema de aquecimento e o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  presente na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais anuais nominais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ). As Figuras 4.1 e 4.2 representam as situações referidas.



**Figura 4.1 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática  $I_1V_1S$ .**



**Figura 4.2 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.**

A análise gráfica da Figura 4.1 permite afirmar que as necessidades nominais globais de energia primária variam de um modo mais acentuado considerando a resistência eléctrica como sistema de aquecimento do espaço interior da fracção autónoma estudada, à medida que se varia o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  entre 0,1, 0,5 e 1,0, presente na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ). Para o caso do uso da caldeira a gás, como sistema de aquecimento do espaço interior, verifica-se que a variação do valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  resulta num aumento insignificativo das necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma estudada.

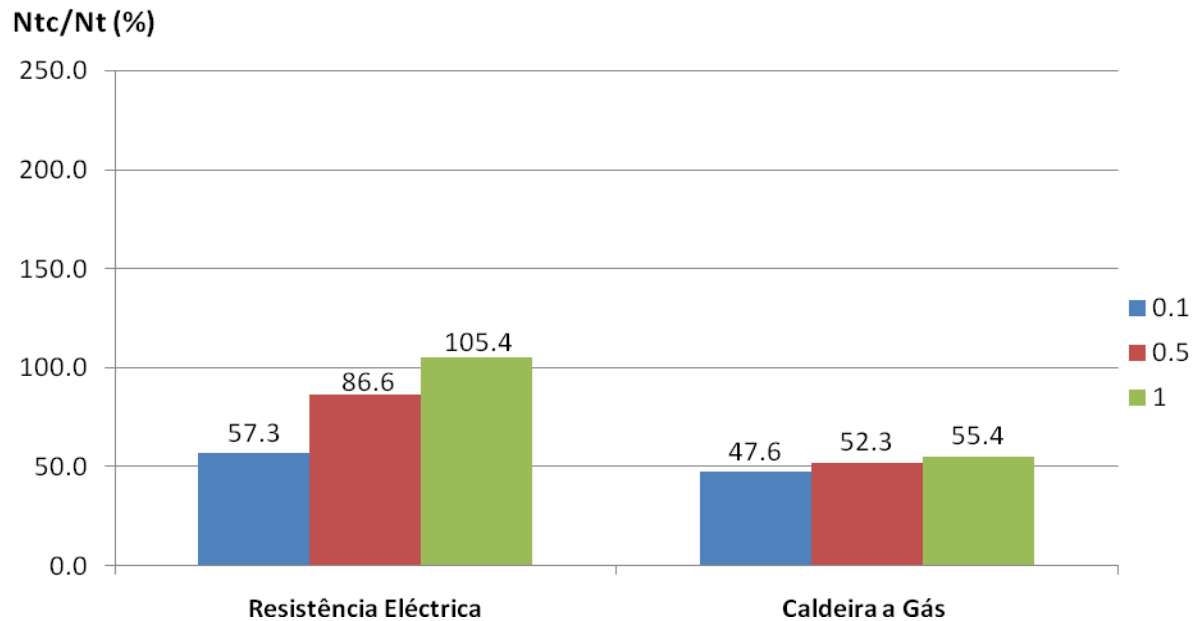
Da análise das figuras anteriores verifica-se que, com a alteração da zona climática para uma localização muito desfavorável, ocorre um aumento bastante acentuado das necessidades nominais globais de energia primária, tanto maior quanto o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado. De notar que esse aumento é bastante mais significativo quando se considera o uso da resistência eléctrica como sistema de aquecimento do espaço interior.



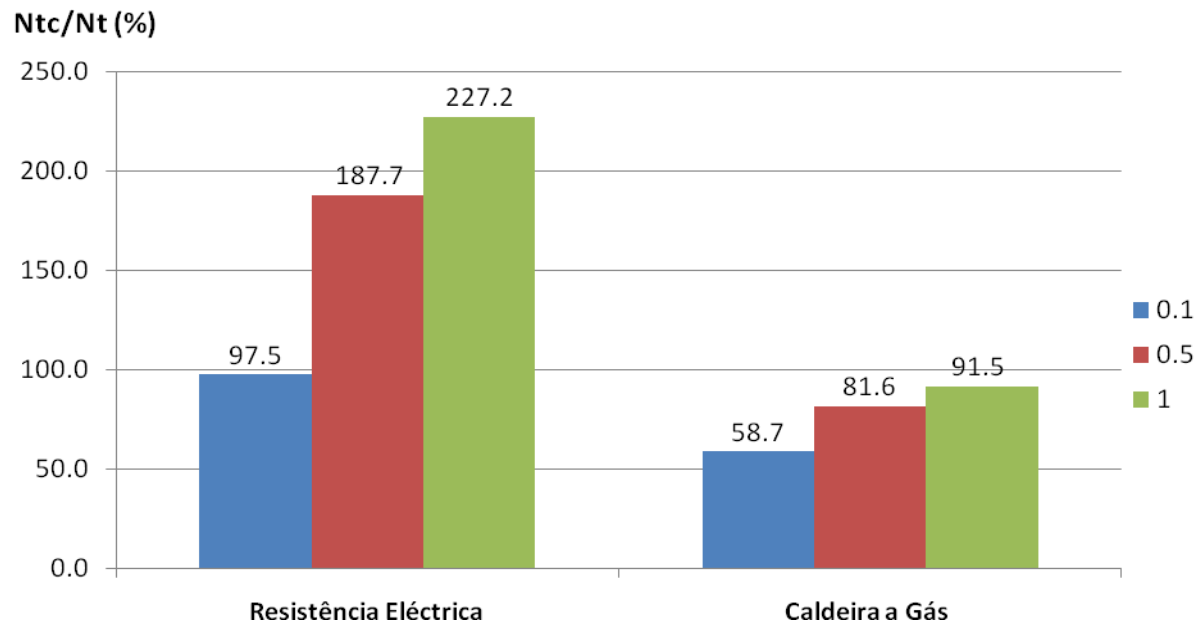
É de referir que, para todas as situações consideradas, apenas aquelas considerando o uso da resistência eléctrica como sistema de aquecimento do espaço interior, zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N e 0,5 e 1,0 como valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  não cumpririam com os requisitos do RCCTE. Para aquela zona climática, as variações mais acentuadas da relação  $N_{tc}/N_t$  considerando 0,5 e 1,0 como valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ , são explicadas, essencialmente, pelas diferenças registadas na parcela das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ), presente na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ), que apresenta uma preponderância naquele cálculo tanto maior quanto o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ . Para além disso, as diferenças nos valores dos factores de conversão entre energia primária e energia útil ( $F_{pu}$ ) considerados na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$  contribuem para que se obtenham, para todas as situações consideradas, necessidades nominais globais de energia primária inferiores aquando do uso da caldeira a gás, comparativamente com aquelas onde se considerou a resistência eléctrica como sistema de aquecimento do ambiente interior, privilegiando, por esse motivo, o uso de sistemas para aquela finalidade com recurso à energia eléctrica.

Verifica-se, ainda, o cumprimento de todas as situações apresentadas na Figura 4.1, sendo que para aquelas onde se considera a caldeira a gás como sistema de aquecimento do espaço interior lhes seria atribuída a classe energética “A”.

Para as zonas climáticas referidas simulou-se o cálculo das necessidades nominais globais de energia primária com a alteração da orientação geográfica de Norte/Sul para Este/Oeste. Assim, encontram-se representadas, nas Figuras 4.3 e 4.4, as variações da relação  $N_{tc}/N_t$  resultantes daquelas alterações.



**Figura 4.3 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**



**Figura 4.4 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.**

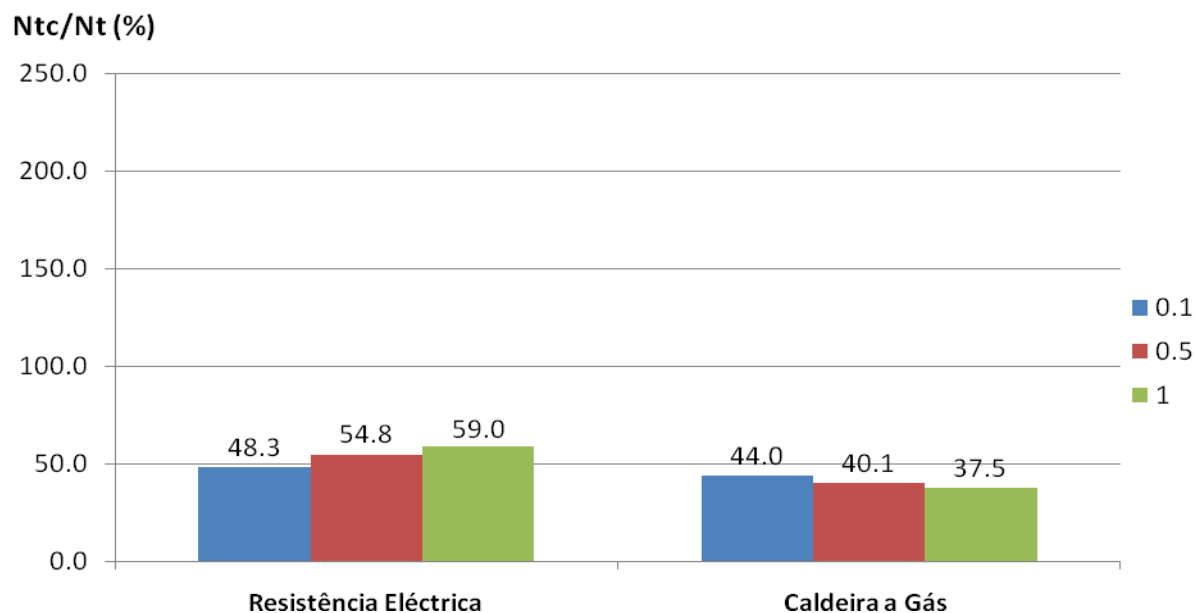
A partir da análise das Figuras 4.3 e 4.4, e comparando-as com as Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente, verifica-se que, a alteração da orientação geográfica Norte/Sul para a

orientação Este/Oeste resulta num aumento significativo das necessidades nominais globais de energia primária. Claramente, a mudança da orientação geográfica de Norte/Sul para Este/Oeste resulta numa diminuição significativa dos ganhos solares brutos, contribuindo, deste modo, para o aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento. Por conseguinte, esta parcela, presente na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária, aumenta o seu valor contribuindo para o declive mais acentuado da relação  $N_{tc}/N_t$  à medida que se aumenta o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ .

#### **4.2 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica de $N_2$**

Após a análise da variação das necessidades nominais globais de energia considerando os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência, procedeu-se à análise dessas mesmas necessidades usando os valores dos coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , seguindo a mesma metodologia de trabalho.

A Figura 4.5 representa a comparação dos sistemas de aquecimento e valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ , no que diz respeito às necessidades nominais globais de energia primária, considerando a orientação geográfica Norte/Sul e a zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.



**Figura 4.5 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática  $I_1 V_1 S$ .**

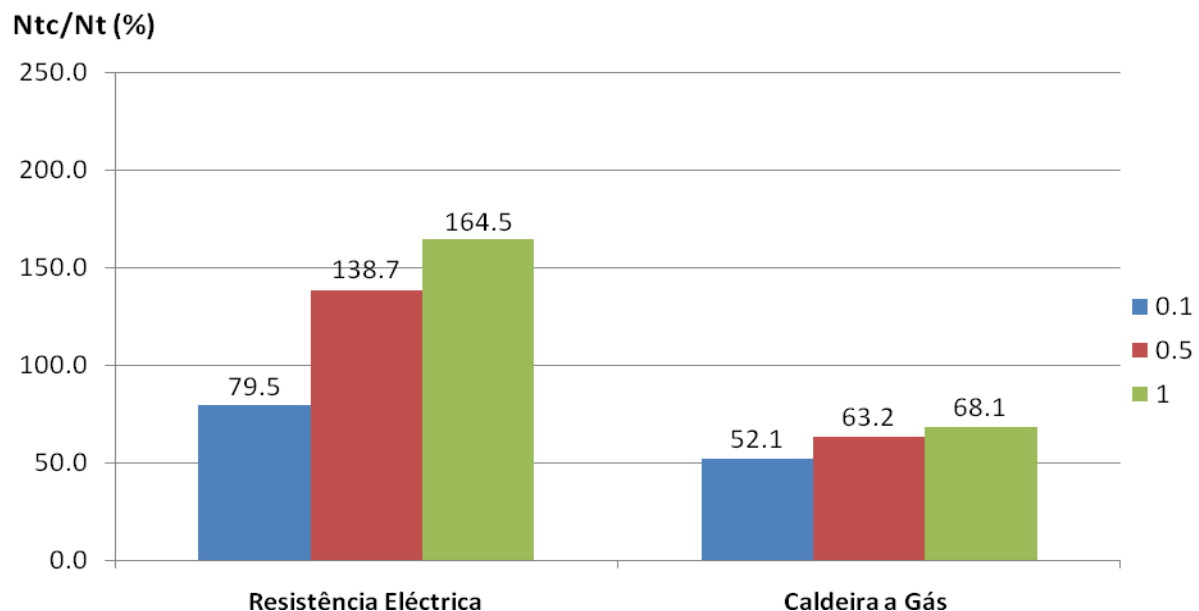
Da análise da Figura 4.5 verifica-se a existência de uma relação  $N_{tc}/N_t$  distinta de acordo com o sistema de aquecimento do ambiente interior considerado, para os diferentes valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ . À semelhança das situações anteriores, o uso de um sistema de aquecimento com recurso à energia eléctrica resulta numa relação  $N_{tc}/N_t$  tanto maior quanto o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado. Contudo, e comparando com as situações da Figura 4.1, registam-se valores daquele quociente mais baixos, já que, nestes casos, foi considerada uma qualidade de envolvente mais eficaz do ponto de vista das perdas e ganhos térmicos.

Para as situações da figura anterior onde se usou a caldeira a gás, como sistema de aquecimento do ambiente interior, verifica-se uma relação  $N_{tc}/N_t$  tanto menor quanto maior o valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado. Esta relação, verificada por um declive negativo no gráfico de barras da Figura 4.5, resulta da combinação de três factores essenciais, são eles a qualidade da envolvente superior à considerada nas situações da Figura 4.1, a zona climática igualmente favorável, e a diminuição do valor da parcela  $N_{ic}$ , presente na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ . Por conseguinte, com o aumento de valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado regista-se um aumento superior do valor da expressão relativa ao cálculo

necessidades nominais globais anuais de energia primária ( $N_t$ ) relativamente ao valor da expressão relativa ao cálculo necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ).

Distinguindo as situações das Figuras 4.1 e 4.5 onde se considerou o uso de um sistema de aquecimento do ambiente interior com recurso ao gás, verifica-se, para efeitos de atribuição de desempenho energético da fracção autónoma estudada, que aquelas presentes na Figura 4.1 se aproximariam de uma classe “B” à medida que se consideraria um valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  mais elevado, ao passo que aquelas apresentadas na Figura 4.5 se aproximariam da classe de desempenho energético “A<sup>+</sup>”.

Alterando a zona climática para uma mais desfavorável e considerando a mesma qualidade de envolvente da Figura 4.5 obtiveram-se as seguintes situações apresentadas na Figura 4.6.



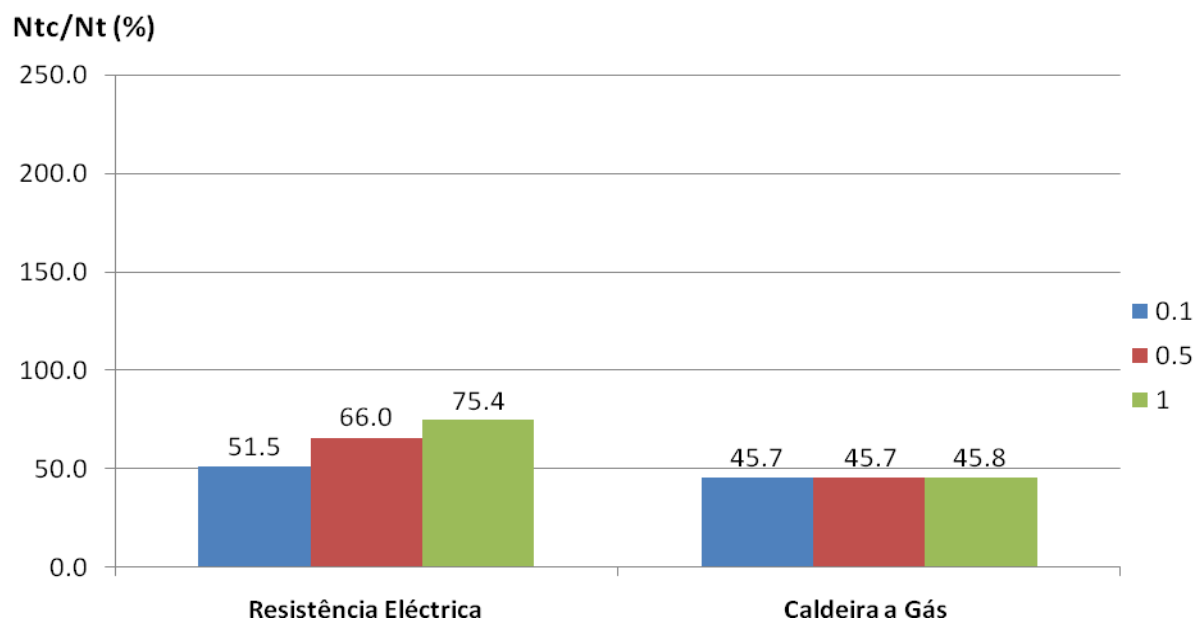
**Figura 4.6 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática  $I_3V_3N$ .**

Da análise e comparação das situações apresentadas nas Figuras 4.5 e 4.6 verifica-se que, a alteração da zona climática para uma mais desfavorável resulta em aumentos significativos das necessidades nominais globais de energia primária, para os dois tipos de sistemas de

aquecimento do ambiente interior considerados. De notar, novamente, que esses aumentos são mais significativos considerando um sistema de aquecimento com recurso à energia eléctrica valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  mais elevados.

É de referir que para as situações onde se considerou o uso da resistência eléctrica, como sistema de aquecimento, seria apenas atribuída, para efeitos de desempenho energético da fracção autónoma estudada, a classe “B” àquela que consideraria 0,1 como valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ . As situações considerando 0,5 e 1,0 como valores ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  não cumpririam com o regulamento, ao contrário daquelas onde se considerou a caldeira a gás, apesar de a nenhuma delas ser atribuída a classe de desempenho energético “A”. De notar, ainda, que a diferença do valor das necessidades nominais de energia primária registado entre as situações considerando 1,0 como valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  é de 96,4 % quando se distinguem aquelas situações a partir de sistemas de aquecimento a energia eléctrica e a gás.

A Figura 4.7 representa as situações para as quais se considerou a qualidade de envolvente N2, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.

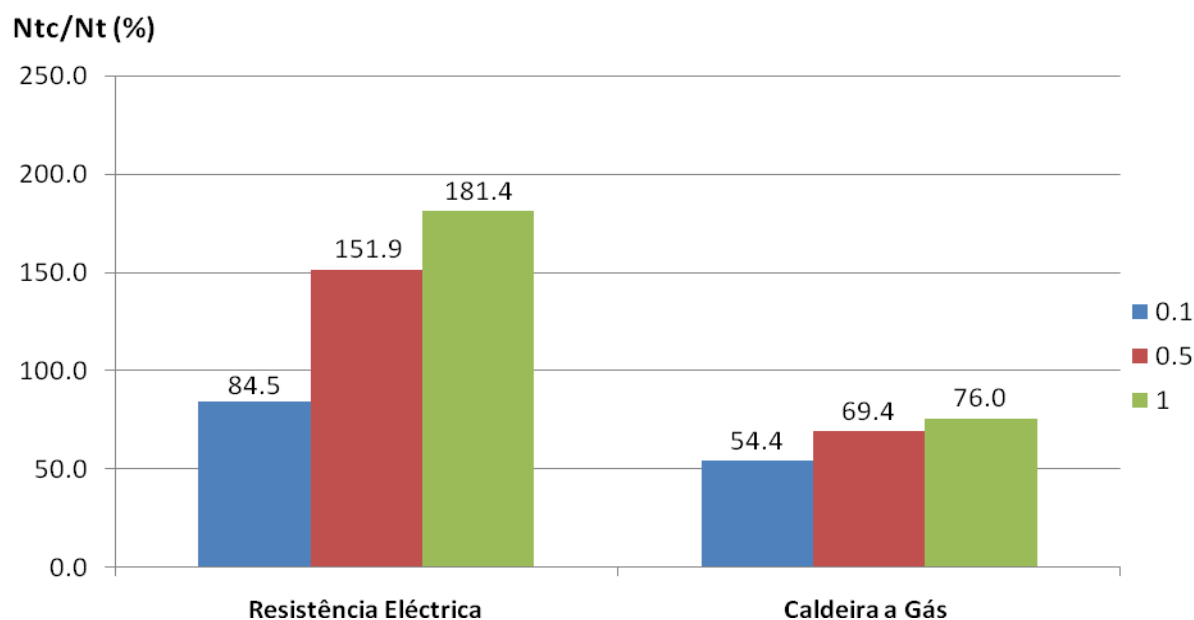


**Figura 4.7 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica N2, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**

Com a alteração da orientação geográfica de Norte/Sul para Este/Oeste verificaram-se aumentos pouco significativos no que diz respeito às necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma estudada. É de realçar que se verifica a mesma relação  $N_{tc}/N_t$  para as situações estudadas considerando um sistema de aquecimento do ambiente interior recorrendo ao gás como fonte de energia. Para estas, e para efeitos de desempenho energético, ser-lhes-ia atribuída a classe energética “A”.

Por outro lado, as situações simuladas considerando o uso da resistência eléctrica como sistema de aquecimento do ambiente interior já não verificam todas a mesma relação  $N_{tc}/N_t$ , já que, com o aumento do valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado, a parcela  $N_{ic}$ , presente na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ , vê o seu valor aumentar significativamente, contribuindo para um quociente  $N_{tc}/N_t$  mais elevado. Estas situações cumprem com os requisitos impostos pelo RCCTE, sendo que, àquelas onde se consideram os valores de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  0,1, 0,5 e 1,0 correspondem as classes de desempenho energético “B”, “B” e “B”, respectivamente.

Apresentam-se, na Figura 4.8, as situações simuladas tendo por base os valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_3V_3N$ .



**Figura 4.8 – Necessidades nominais globais de energia primária para valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_3V_3N$ .**

A análise da figura anterior confirma o que tem vindo a ser verificado, isto é, as necessidades nominais globais de energia primária são bastante mais elevadas para as situações onde se considerou o uso de um sistema de aquecimento do ambiente interior com recurso à energia eléctrica do que para aquelas considerando um sistema com a mesma finalidade do anterior com recurso ao gás como fonte de energia.

É de realçar que apenas a situação considerando a resistência eléctrica como sistema de aquecimento não cumpriria com o RCCTE, sendo o valor do quociente  $N_{tc}/N_t$  superior a qualquer um dos quocientes das situações recorrendo a uma caldeira a gás como sistema de aquecimento.

Comparando as situações da figura anterior com aquelas apresentadas na Figura 4.6 verifica-se que da alteração da orientação geográfica Norte/Sul para Este/Oeste resultam aumentos pouco significativos nas necessidades nominais globais de energia primária. Já comparando as duas situações que consideram 1,0 como valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  verifica-se uma diferença de mais de 100 % entre aquela que considera um sistema de aquecimento do ambiente interior com recurso à energia eléctrica e aquela que tem por base igualmente um sistema de aquecimento, mas com recurso ao gás como fonte de energia. As discrepâncias verificadas são também resultado dos diferentes valores dos factores de conversão entre energia primária e energia útil ( $F_{pu}$ ) considerados na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$  e apresentados no capítulo anterior.

### **4.3 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária considerando a existência da resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $N_t$ , para valores de coeficientes de transmissão térmica de referência**

As simulações apresentadas nos pontos anteriores pretenderam relacionar os parâmetros condicionantes do processo de cálculo das necessidades nominais globais de energia primária, atrás referidos, com diferentes sistemas de aquecimento do ambiente interior e valores de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária ( $N_{tc}$ ). Por conseguinte, as simulações realizadas consideraram



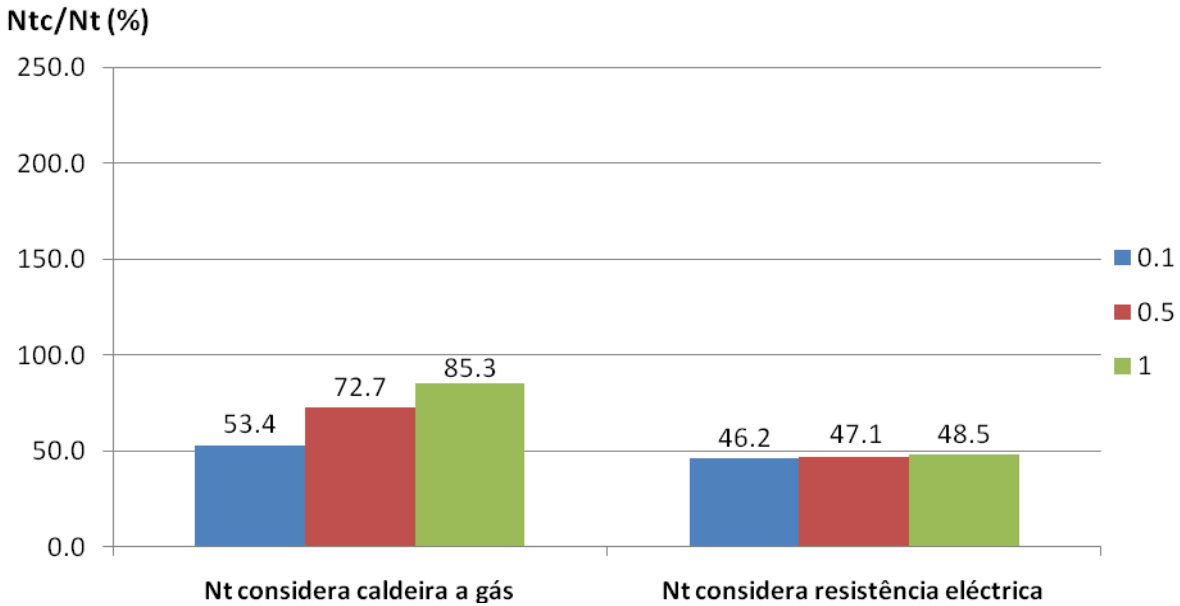
como base as expressões de cálculo de  $N_{tc}$  e  $N_t$  presentes no Artigo 15.º do Capítulo V do RCCTE, apenas variando os factores de ponderação relativos aos valores de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ .

No entanto, como já referido (vd. 3.3.2), e para além daqueles factores de ponderação, a expressão de cálculo de  $N_t$  também considera, por defeito, um sistema de aquecimento baseado numa caldeira a gás com um rendimento de 0,87. Como seria razoável prever e os cálculos acima apresentados bem o demonstram, esta opção penaliza fortemente a escolha de um sistema de aquecimento com base numa resistência eléctrica. A possibilidade de o cálculo de  $N_t$  poder considerar o sistema de aquecimento efectivamente em causa ou, de outro modo, de os cálculos de  $N_t$  e  $N_{tc}$  considerarem o mesmo pressuposto relativamente ao sistema de aquecimento quando se trate de uma resistência eléctrica, foi avaliado recorrendo à alteração da respectiva expressão (vd. 3.3.2).

Assim, os gráficos que a seguir se apresentam dizem respeito às soluções com resistência eléctrica e comparam, para cada um dos três valores de factor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  (0,1, 0,5 e 1,0), a relação  $N_{tc}/N_t$  para dois casos distintos: o cálculo de  $N_t$  mantém o pressuposto do RCCTE (caldeira a gás) ou o cálculo de  $N_t$  considera a própria resistência eléctrica.

Apresentam-se, de seguida, os resultados finais das simulações realizadas considerando a existência da resistência eléctrica, como sistema de aquecimento do ambiente interior, na expressão de cálculo de  $N_t$ .

Encontram-se representadas na Figura 4.9 as situações para as quais se considerou a caldeira a gás como sistema de aquecimento de ambiente interior na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , e aquelas considerando a resistência eléctrica na mesma expressão de cálculo. Para todas essas situações a resistência eléctrica foi o sistema de aquecimento considerado na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ , tendo sido considerados os valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.



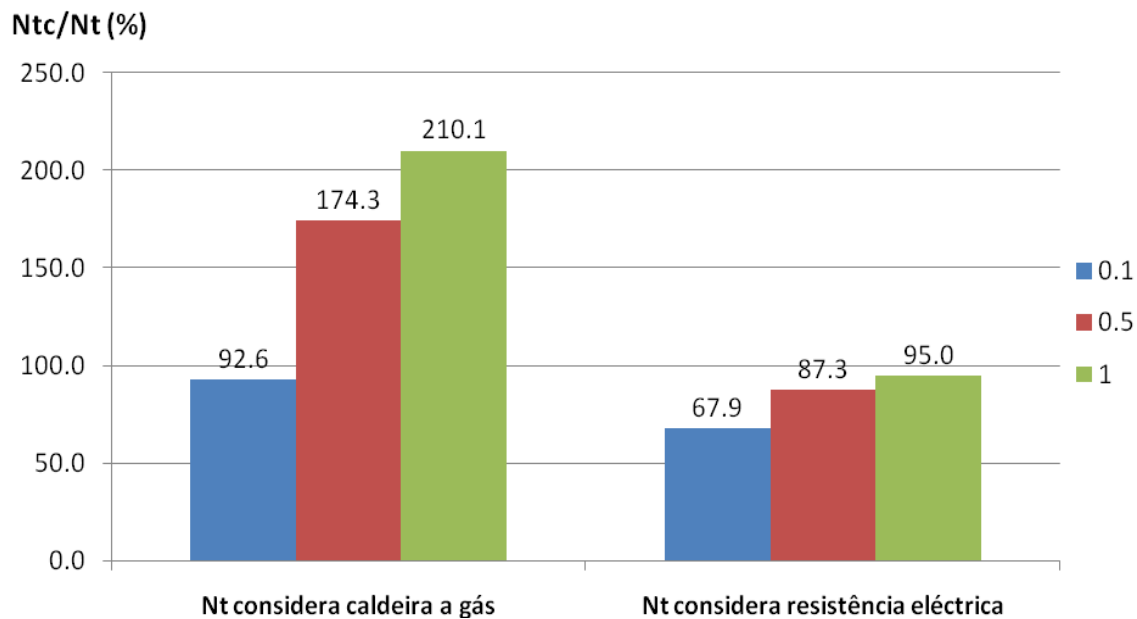
**Figura 4.9 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**

Da análise gráfica da figura anterior verifica-se que as necessidades nominais globais de energia primária são superiores para as situações onde se considera a caldeira a gás como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , comparativamente com as situações considerando a resistência eléctrica na expressão de cálculo referida. Estas não registam alterações significativas com o aumento do valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  presente na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ , sendo que o mesmo já não se verifica nas situações considerando caldeira a gás na expressão de cálculo de  $N_t$ .

Relativamente às situações apresentadas na Figura 4.9, verifica-se que a discrepância dos valores das parcelas de  $N_{ic}$  e  $N_i$  presentes nas expressões relativas aos cálculos de  $N_{tc}$  e  $N_t$  é tanto maior quanto maior o valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  considerado. A parcela  $N_i$  regista valores mais elevados do que a parcela  $N_{ic}$  nas situações onde se considerou, para a estação de aquecimento, a resistência eléctrica. Deste modo, e utilizando os valores de ponderação  $N_i$  apresentados no capítulo anterior, verifica-se que a relação  $N_{tc}/N_t$  se mantém constante com a variação dos valores de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  presentes na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ .

É de notar que, se se considerasse o sistema de aquecimento a energia eléctrica referido na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  obter-se-iam classes de desempenho energético “A” para as três situações apresentadas, em vez das classes “B”, “B” e “B” das três situações considerando caldeira a gás naquela expressão de cálculo.

A Figura 4.10 apresenta as situações idênticas às apresentadas na figura anterior com a alteração da zona climática para uma mais desfavorável.

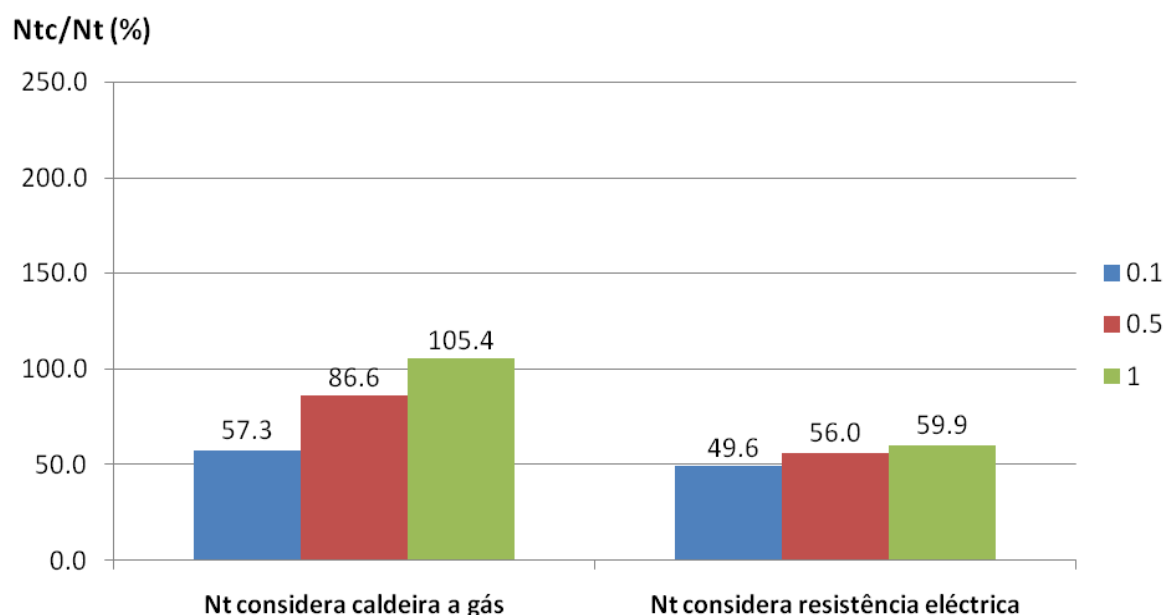


**Figura 4.10 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.**

Comparando os valores do quociente  $N_{tc}/N_t$  das situações apresentadas na figura anterior verifica-se que o facto de se considerar, na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , a resistência eléctrica como sistema de aquecimento torna possível a diminuição bastante significativa das necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma estudada quando localizada numa zona climática mais desfavorável.

Das situações onde se considera a caldeira a gás na expressão de cálculo de  $N_t$  apenas aquela que considera 0,1 como valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão de cálculo de  $N_{tc}$  cumpriria com os requisitos do RCCTE, no que diz respeito à atribuição da classe de desempenho energético, a qual seria “B”. Pelo contrário, seriam atribuídas as classes de desempenho energético “B”, “B-” e “B-” às situações considerando resistência eléctrica na expressão de cálculo de  $N_t$  e valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão de cálculo de  $N_{tc}$ , respectivamente.

Apresentam-se na Figura 4.11 as situações considerando os valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste, zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S e os mesmos sistemas de aquecimento considerados anteriormente na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ .

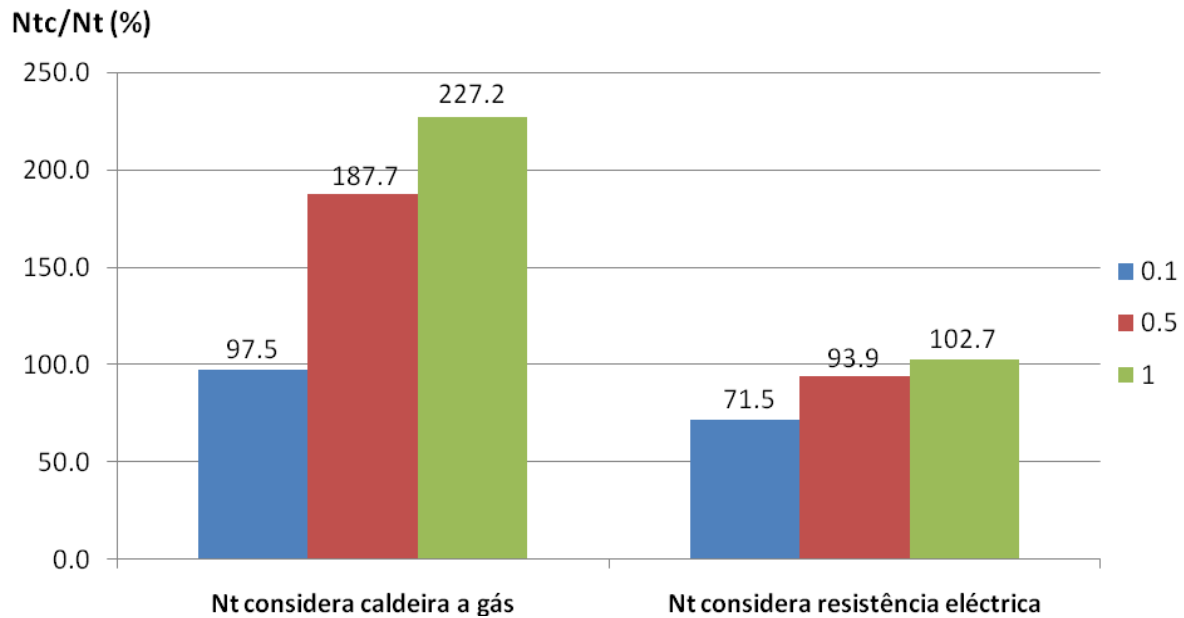


**Figura 4.11 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**

As situações apresentadas na figura anterior apresentam valores de  $N_{tc}/N_t$  mais elevados do que as situações apresentadas na Figura 4.9, sendo que se verifica que as diferenças dos mesmos são pouco significativas, na consequência da alteração da orientação geográfica de Norte/Sul para Este/Oeste da fracção autónoma estudada.

No entanto, verificam-se diferenças importantes na atribuição das classes de desempenho energético nas situações apresentadas na Figura 4.11. Para aquelas onde se considerou a caldeira a gás como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  seriam atribuídas as classes “B”, “B” às situações considerando 0,1 e 0,5 como valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ , respectivamente, sendo que a situação onde se considerou 1,0 como valor de ponderação daquele cálculo não cumpriria com o RCCTE. Pelo contrário, as situações considerando 0,1, 0,5 e 1,0 como valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$  cumpririam com o RCCTE, sendo-lhes atribuídas as classes de desempenho energético “A”, “B” e “B”, respectivamente.

A Figura 4.12 apresenta as simulações de cálculo das necessidades nominais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.



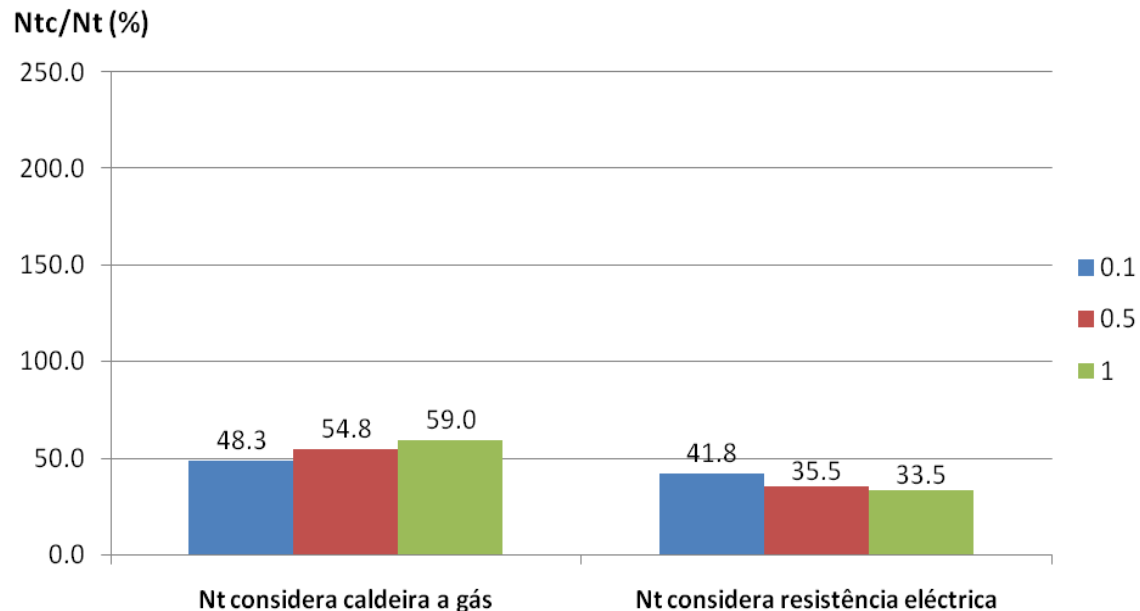
**Figura 4.12 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica de referência, orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.**

A alteração da orientação geográfica de Norte/Sul para Este/Oeste resulta num aumento pouco significativo das necessidades nominais globais de energia primária, sendo esse aumento consequência dos menores ganhos solares verificados que se traduzem num aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.

É de notar o não cumprimento com o RCCTE da situação na qual se considerou 1,0 como valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$  e resistência eléctrica na expressão de cálculo de  $N_t$ , que cumpriria considerando todas os parâmetros tidos em conta na Figura 4.10, com a excepção da orientação geográfica alterada para Este/Oeste.

#### **4.4 Simulação do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária considerando a existência da resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de $N_t$ , para valores de coeficientes de transmissão térmica $N_2$**

A figura seguinte representa as situações simuladas considerando a existência da resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.



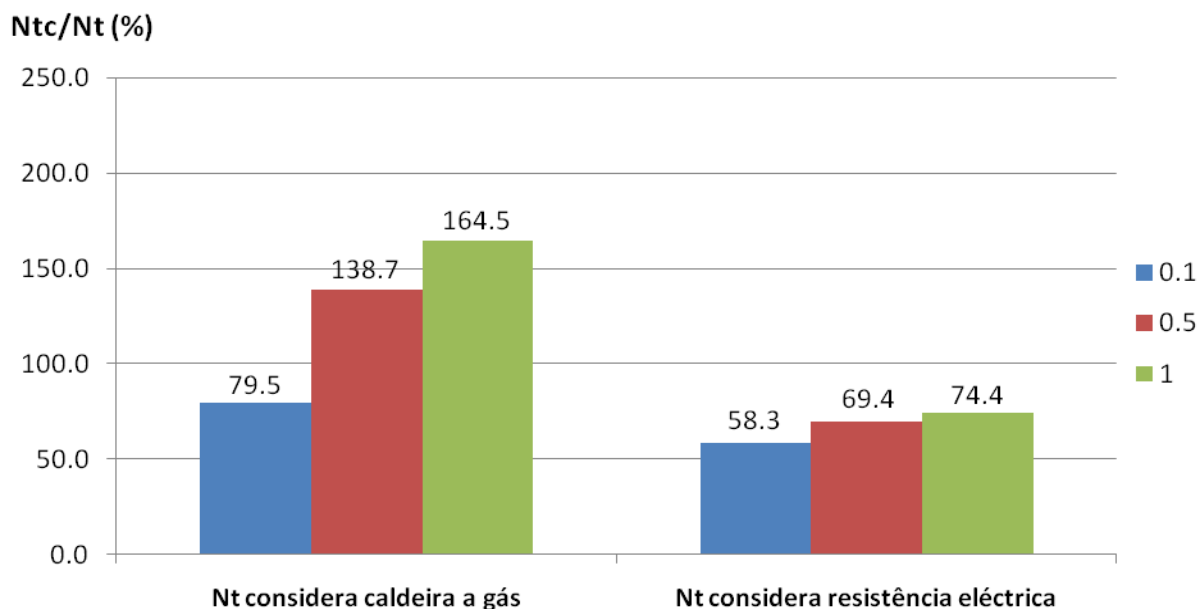
**Figura 4.13 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**

As situações apresentadas na figura anterior traduzem diferentes relações  $N_{tc}/N_t$  consoante o tipo de sistema de aquecimento considerado na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais de energia primária.

A diferença dos declives verificados com o aumento do valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$  deve-se ao facto de serem utilizados diferentes valores de ponderação de  $N_i$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  (0,03 para o caso da resistência eléctrica e 0,01 para o caso da caldeira a gás). Deste modo, a expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  assume valores mais elevados comparativamente com a expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ . Por este motivo, as necessidades nominais globais de energia primária tendem a diminuir para os casos onde se considera a resistência eléctrica na expressão de cálculo de  $N_t$ , e a aumentar nas

situações considerando a caldeira a gás na mesma expressão. Às últimas corresponderiam as classes energéticas “A”, “B” e “B”, para os valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  0,1, 0,5 e 1,0. Caso se considerasse a resistência eléctrica como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , obter-se-ia a classe de desempenho energético “A” para as situações considerando os mesmos valores de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ .

A Figura 4.14 representa as situações que consideram aquelas da figura anterior, com a alteração da zona climática para uma mais desfavorável.



**Figura 4.14 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Norte/Sul e zona climática I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N.**

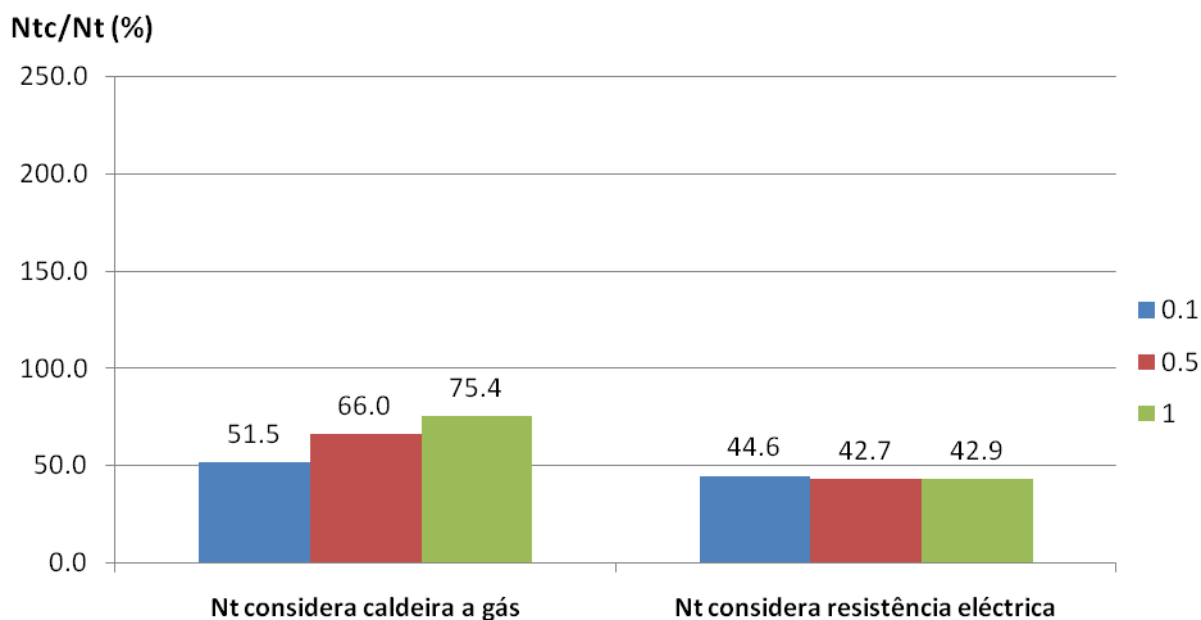
À semelhança das situações apresentadas na Figura 4.10, as necessidades nominais globais de energia primária das situações da figura anterior tendem a aumentar significativamente, após alteração da zona climática para uma mais desfavorável. Contudo, e comparando com os valores registados nas situações da Figura 4.10, esse aumento não é tão expressivo já que são, desta vez,



considerados valores de coeficientes de transmissão térmica que traduzem uma qualidade de envolvente mais elevada.

De novo, as situações considerando a existência do sistema de aquecimento do ambiente interior na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  apresentam valores mais baixos das necessidades nominais globais de energia primária, do que aquelas que consideram, para o mesmo efeito, a existência da caldeira gás.

Apresentam-se na Figura 4.15 as situações considerando a existência da caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.



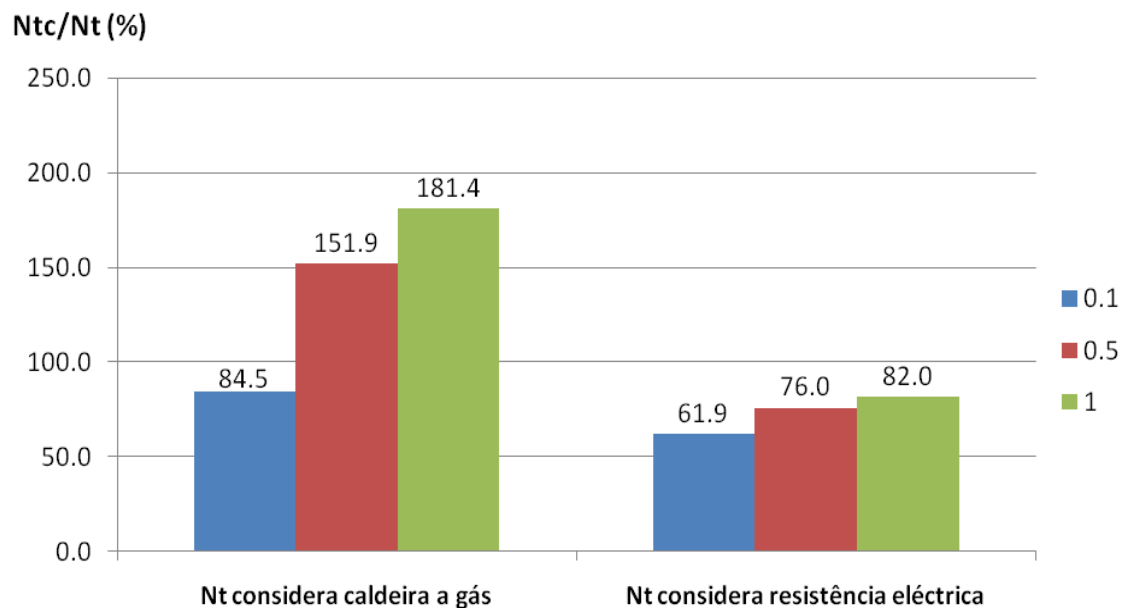
**Figura 4.15 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S.**

Analisando a relação  $N_{tc}/N_t$  das situações da figura anterior verifica-se que evoluem de um modo muito semelhante ao registado nas situações presentes na Figura 4.13. Isto significa que a alteração da orientação geográfica Norte/Sul para Este/Oeste resultaria em acréscimos pouco significativos no que diz respeito às necessidades nominais globais de energia primária da

fracção autónoma estudada. Esses mesmos fazer-se-iam notar nos casos em que  $N_t$  considera a existência da caldeira a gás na sua expressão de cálculo, já que, para efeitos de desempenho energético, ser-lhes-iam atribuídas as classes “B”, “B” e “B” para os valores de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  atrás considerados, respectivamente.

No caso de ser considerada a resistência eléctrica como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , atribuir-se-ia a classe de desempenho energético “A” para todas as situações.

A figura seguinte representa as situações para as quais se consideraram os dois sistemas de aquecimento até aqui referidos, valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_3V_3N$ .



**Figura 4.16 – Necessidades nominais globais de energia primária considerando caldeira a gás e resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ , valores de coeficientes de transmissão térmica  $N_2$ , orientação geográfica Este/Oeste e zona climática  $I_3V_3N$ .**

A análise da Figura 4.16 mostra que as necessidades nominais globais de energia primária, para os parâmetros estudados, tendem a aumentar com o aumento do valor de ponderação de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ , sendo que esse aumento é mais elevado quando se considera a existência da caldeira a gás, como sistema de aquecimento do ambiente interior, na expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais de energia primária.

É de referir que a situação considerando a caldeira a gás com o valor mais baixo das necessidades nominais globais de energia primária apresenta um valor mais elevado do que a situação com o valor mais elevado daquelas necessidades, considerando a resistência eléctrica na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ . Por outras palavras, considerando 100 % da influência da qualidade de envolvente (na expressão relativa ao cálculo de  $N_{tc}$ ) e a existência da resistência eléctrica, tornar-se-ia possível atingir um valor mais baixo das necessidades nominais globais de energia primária do que aquele considerando apenas 10 % da influência da qualidade de envolvente e a caldeira a gás, como sistema de aquecimento, na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$ . Este facto pressupõe, para as mesmas condições estudadas, que, relativamente à expressão de cálculo de  $N_t$ , a escolha do sistema de aquecimento do ambiente interior poderá influenciar de um modo mais expressivo o desempenho energético da fracção autónoma estudada do que seria de esperar.

O Quadro 4.1 apresenta os resultados obtidos considerando na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  a resistência eléctrica e a caldeira a gás como sistemas de aquecimento do ambiente interior, para a fracção autónoma estudada.

**Quadro 4.1 – Resultados obtidos para simulações considerando resistência eléctrica como sistema de aquecimento na expressão relativa ao cálculo de  $N_t$  ( $N_{tc}$  e  $N_t$  em  $\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ )**

Simulação	$N_t$ considera caldeira a gás durante				$N_t$ considera resistência eléctrica durante			
	inverno				inverno			
	$N_{tc}$	$N_t$	$N_{tc}/N_t$ (%)	Classe De Desempenho	$N_{tc}$	$N_t$	$N_{tc}/N_t$ (%)	Classe De Desempenho
1	2,59	5,36	48,3	A	2,59	6,19	41,8	A
2	4,16	7,59	54,8	B	4,16	11,73	35,5	A
3	6,12	10,38	59,0	B	6,12	18,25	33,5	A

<b>4</b>	2,76	5,36	51,5	B	2,76	6,19	44,6	A
<b>5</b>	5,01	7,59	66,0	B	5,01	11,73	42,7	A
<b>6</b>	7,83	10,38	75,4	B <sup>-</sup>	7,83	18,25	42,9	A
<b>13</b>	4,81	6,05	79,5	B <sup>-</sup>	4,81	8,25	58,3	B
<b>14</b>	15,3	11,03	138,7	Não Cumpre	15,3	22,04	69,4	B
<b>15</b>	28,4	17,26	164,5	Não Cumpre	28,4	38,18	74,4	B
<b>16</b>	5,11	6,05	84,5	B <sup>-</sup>	5,11	8,25	61,9	B
<b>17</b>	16,75	11,03	151,9	Não Cumpre	16,75	22,04	76,0	B <sup>-</sup>
<b>18</b>	31,31	17,26	181,4	Não Cumpre	31,31	38,18	82,0	B <sup>-</sup>
<b>25</b>	2,86	5,36	53,4	B	2,86	6,19	46,2	A
<b>26</b>	5,52	7,59	72,7	B	5,52	11,73	47,1	A
<b>27</b>	8,85	10,38	85,3	B <sup>-</sup>	8,85	18,25	48,5	A
<b>28</b>	3,07	5,36	57,3	B	3,07	6,19	49,6	A
<b>29</b>	6,57	7,59	86,6	B <sup>-</sup>	6,57	11,73	56,0	B
<b>30</b>	10,94	10,38	105,4	Não Cumpre	10,94	18,25	59,9	B
<b>37</b>	5,6	6,05	92,6	B <sup>-</sup>	5,6	8,25	67,9	B
<b>38</b>	19,23	11,03	174,3	Não Cumpre	19,23	22,04	87,3	B <sup>-</sup>
<b>39</b>	36,27	17,26	210,1	Não Cumpre	36,27	38,18	95,0	B <sup>-</sup>
<b>40</b>	5,9	6,05	97,5	B <sup>-</sup>	5,9	8,25	71,5	B
<b>41</b>	20,7	11,03	187,7	Não Cumpre	20,7	22,04	93,9	B <sup>-</sup>
<b>42</b>	39,21	17,26	227,2	Não Cumpre	39,21	38,18	102,7	Não Cumpre

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu avaliar de que modo alguns parâmetros condicionantes do cálculo das necessidades globais anuais nominais de energia primária, em edifícios de habitação, influenciam a classe de certificação energética dos mesmos.

As diferentes simulações realizadas permitiram concluir que o valor de ponderação  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  da expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais específicas de energia primária desconsidera, gravemente, a influência da qualidade de envolvente da fracção autónoma, no que diz respeito àquele processo de cálculo.

Relativamente ao valor de ponderação de  $N_i$  e  $N_v$  da expressão relativa ao cálculo das necessidades nominais globais anuais de energia primária, concluiu-se que tende a privilegiar uma única fonte de energia do sistema de aquecimento do ambiente interior utilizado, e que condiciona, de uma forma decisiva, a classe de certificação energética da fracção autónoma estudada.

Do estudo da influência dos valores de ponderação das expressões de cálculo referidas concluiu-se que da escolha do sistema de aquecimento do ambiente interior resultam diferentes classes de certificação energética, traduzindo necessidades globais de energia primária distintas, para a totalidade das situações simuladas da fracção autónoma estudada.

Deste modo, concluiu-se que os valores das expressões relativas ao cálculo de  $N_{tc}$  e  $N_t$  dependem, directamente, da combinação do sistema de aquecimento escolhido e dos valores de ponderação daquelas considerados.

A simulação do cálculo das necessidades globais anuais nominais de energia primária variando tanto a orientação geográfica como a zona climática permitiu concluir que estes dois parâmetros influenciam de um modo muito significativo a classe energética da moradia estudada, para os dois níveis de qualidade de envolvente testados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas, M. (2001) Conforto Térmico. Módulo da Disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente. UTL, IST, Lisboa, 25 pp.

Atalaia, L. (2008) *Avaliação Térmica de Edifícios Antigos e Propostas de Reabilitação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, UTL, IST, Lisboa, 132 pp.

Balaras, C., Drousa, K., Dascalaki, E., and Kontoyiannidis, S. (2005) Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings*, 37, pp. 429-442.

Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE).

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia (2009a) *Energia em Portugal – Principais Números*. DGEG, Ministério da Economia e da Inovação, Junho 2009.

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia (2009b) *Petróleo, gás natural e carvão*. DGEG, Ministério da Economia e da Inovação, Estatísticas rápidas – Fevereiro 2009, nº46, 16 pp.

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia (2009c) *Renováveis*. DGEG, Ministério da Economia e da Inovação, Estatísticas rápidas – Março 2009, nº49, 22 pp.

Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho nº 2001/77/EC, de 27 de Setembro de 2001, relativa à promoção de electricidade produzida a partir de fontes de energias renováveis no mercado doméstico de electricidade. Jornal Oficial L 283/33 de 27-10-2001.

Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho nº 2002/91/EC, de 16 de Dezembro de 2002, relativa à eficiência energética em edifícios. Jornal Oficial L 1/65 de 04-01-2003.

Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho nº 2006/32/EC, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência do uso final de energia e aos serviços de energia. Jornal Oficial L 114/64 de 27-04-2006.

Dornelles, K. and Roriz, M. (2004) Thermal Inertia, Comfort and Energy Consumption in Buildings: A Case Study in São Paulo State – Brazil. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 28, pp. 153-162.

EC – European Commission (2007a) *Energy use in buildings*. Information kit, 4 pp.

EC – European Commission (2007b) *European Energy and Transport – Trends to 2030*. EC (ed.), Luxembourg, 158 pp.

EC – European Commission (2008) *Energy efficient buildings save money: Recast of the Energy Performance of Buildings Directive*. EC (ed.), Brussels, Belgium, 2 pp.

EC – European Commission (2009a) *EU energy and transport in figures*. EC (ed.), Luxembourg, 232 pp.

EC – European Commission (2009b) Informação disponibilizada pela Comissão Europeia no seu portal da “internet” ([http://ec.europa.eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/index_en.htm))

EEA – European Environment Agency (2008) *Energy and environment report 2008*. EEA (eds.), EEA Report nº 6/2008, Copenhagen, Denmark, 99 pp.

Enerbuilding (2008) *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Enerbuilding Manual do Consumidor, Lisboa, Portugal, 48 pp.

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2009) Informação disponibilizada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos no seu portal da “internet” ([www.erse.pt](http://www.erse.pt))

Eurostat (2008) *Energy, transport and environment indicators*. Eurostat (ed.), Luxembourg.

Eurostat (2009) *Panorama of energy. Energy statistics to support EU policies and solutions*. Eurostat (ed.), Luxembourg.

Freitas, V. (2007) Implicações Construtivas do Novo RCCTE na Conceção de Paredes de Alvenaria. *Seminário sobre Paredes de Alvenaria*, pp. 87-102.

Gaitini, N., Mihalakakou, G., and Santamouris, M. (2005) On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort in outdoor spaces. *Building an Environment*, 42, pp. 317-324.

Hinrichs, R. and Kleinbach, M. (2006) *Energy Its Use and the Environment*. Thomson Brooks/Cole, 595, pp.

IEA – International Energy Agency (2008) *World Energy Outlook 2008*. IEA (eds.), Executive Summary, Paris, France, pp. 3-15.

IEE – Intelligent Energy-Europe (2008) *Energy-efficient homes and buildings - The beauty of efficiency*. Intelligent Energy-Europe programme, Project report n° 2/2008.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2009) Informação disponibilizada pelo Instituto Nacional de Estatística no seu portal da “internet” ([www.ine.pt](http://www.ine.pt))



Larbi, A. (2005) Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings. *Energy and Buildings*, 37, pp. 945-951.

Matias, L. e Santos, C. (2006) Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. ITE 50. LNEC, 171, pp.

Mimoso, J. (1987) Transmissão de Calor. Bases Teóricas para aplicação à Térmica de Edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 154, pp.

Peng, C. and Wu, Z. (2008) In situ measuring and evaluating the thermal resistance of building construction. *Energy and Buildings*, 40, pp. 2076-2082.

Piedade, A. Rodrigues, A. e Roriz, L. (2000) Climatização em Edifícios. Envolvente e Comportamento Térmico. Edições Orion, 364, pp.

Roussado, F. (2008) *Avaliação dos Impactes Construtivos e Ambientais da Regulamentação Térmica*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, UTL, IST, Lisboa, 188 pp.

Sharma, A. and Dhote, K. (2003) Thermal Comfort and Heritage Building. *Journal of the Institution of Engineers*, 84, pp.

Valério, J. (2007) *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, UTL, IST, Lisboa, 97 pp.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **Valores de Coeficientes de Transmissão Térmica**

**Coefficientes de Transmissão Térmica para N2 (W/m<sup>2</sup>. °C)**

Elemento da Envolvente	Zona Climática	
	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>
Paredes exteriores zona corrente	0.35	0.25
Paredes exteriores ponte térmica plana	0.63	0.45
Cobertura	0.25	0.20
Edifício Adjacente Zona corrente	0.70	0.50
Edifício Adjacente exteriores ponte térmica plana	1.26	0.90
Garagem (paredes)	0.35	0.25
Desvão (paredes)	0.70	0.50
Garagem (pavimentos)	0.25	0.20
Desvão (pavimentos)	0.50	0.40
Envidraçados	2.80	2.80

**Coefficientes de Transmissão Térmica de Referência (W/m<sup>2</sup>. °C)**

Elemento da Envolvente	Zona Climática	
	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>
Paredes exteriores zona corrente	0.70	0.50
Paredes exteriores ponte térmica plana	1.26	0.90
Cobertura	0.50	0.40
Edifício Adjacente Zona corrente	1.40	1.00
Edifício Adjacente exteriores ponte térmica plana	2.00	1.80
Garagem (paredes)	0.70	0.50
Desvão (paredes)	1.40	1.00
Garagem (pavimentos)	0.50	0.40
Desvão (pavimentos)	1.00	0.80
Envidraçados	4.30	3.30

## **ANEXO 2**

### **Dados Climáticos de Referência**

<b>Parâmetro</b>	<b>I<sub>1</sub>V<sub>1</sub>S (Portimão)</b>	<b>I<sub>3</sub>V<sub>3</sub>N (Tarouca)</b>
$G_{\text{sul}}$ (kWh/m <sup>2</sup> .mês)	108	90
$M$ (meses)	5.3	6.3
$GD$ (° C.dias)	940	2670
$T_{\text{atm}}$ (° C)	21	22
Ir N (kWh/m <sup>2</sup> )	200	200
Ir S (kWh/m <sup>2</sup> )	380	400
Ir E (kWh/m <sup>2</sup> )	420	450
Ir W (kWh/m <sup>2</sup> )	430	450
Ir Horiz (kWh/m <sup>2</sup> )	760	800